

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-307111

(43)Date of publication of application : 02.11.2001

(51)Int.Cl.

G06T 7/60

G06F 17/30

G06F 17/50

G06T 1/00

G06T 7/00

(21)Application number : 2000-120085

(71)Applicant : INTERNATL BUSINESS MACH CORP <IBM>

(22)Date of filing : 20.04.2000

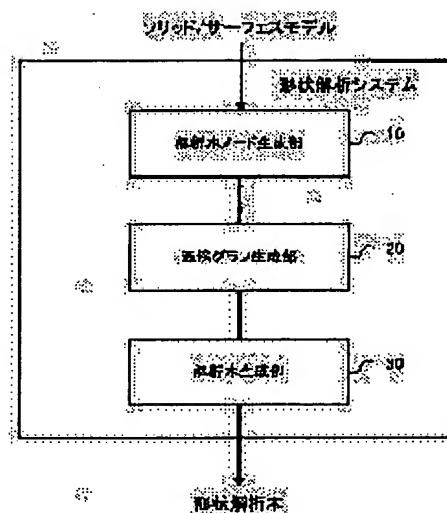
(72)Inventor : MURAO TAKAAKI

(54) SHAPE ANALYSIS SYSTEM AND METHOD, DIFFERENCE DETECTION SYSTEM AND METHOD FOR THREE-DIMENSIONAL SHAPE MODEL, SIMILAR SHAPE RETRIEVAL SYSTEM AND METHOD, STORAGE MEDIUM, AND PROGRAM TRANSMISSION DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To mechanically execute the detection of a difference between shapes due to the change of design and the retrieval of a product having a similar shape by mutually comparing the electronic shape data of plural products.

SOLUTION: The shape analysis system is provided with an analytical tree node generation part 10 for generating shape analytical tree nodes corresponding to patches constituting a three-dimensional shape model, a vicinity graph generation part 20 for generating a vicinity graph by generating an edge between nodes having geometrically adjacent relation with each other out of nodes generated by the generation part 10 and an analytical tree generation part 30 for merging nodes forming an edge out of nodes on the vicinity graph generated by the generation part 20 on the basis of a condition for preferentially merging nodes having continuity in the shapes of the patches and generating a shape analytical tree constituted of forming a new node obtained by merging as a master node and unmerged nodes as slave nodes.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

25.01.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-307111

(P2001-307111A)

(43)公開日 平成13年11月2日(2001.11.2)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード(参考)
G 0 6 T 7/60	1 8 0	G 0 6 T 7/60	1 8 0 A 5 B 0 4 6
G 0 6 F 17/30	1 7 0	G 0 6 F 17/30	1 7 0 Z 5 B 0 5 0
	3 5 0		3 5 0 C 5 B 0 7 5
	4 1 9		4 1 9 A 5 L 0 9 6
17/50	6 1 4	17/50	6 1 4 A

審査請求 有 請求項の数19 O L (全 24 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2000-120085(P2000-120085)

(22)出願日 平成12年4月20日(2000.4.20)

(71)出願人 390009531

インターナショナル・ビジネス・マシー
ズ・コーポレーション

INTERNATIONAL BUSIN
ESS MACHINES CORPO
RATION

アメリカ合衆国10504、ニューヨーク州

アーモンク (番地なし)

(74)代理人 100086243

弁理士 坂口 博 (外3名)

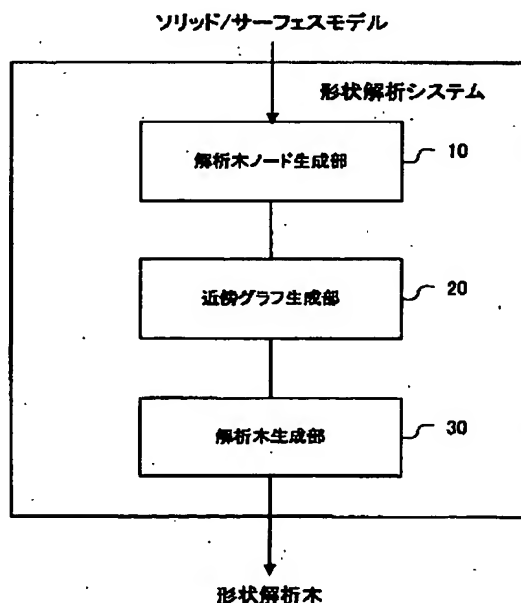
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 形状解析システム、3次元形状モデルの差分検出システム、類似形状検索システム、形状解析方法、3次元形状モデルの差異検出方法、類似形状検索方法、記憶媒体及びプログラム伝送装置

(57)【要約】

【課題】 電子化された製品の形状データを比較して、設計変更などによる形状の差異の検出や形状が類似する製品の検索を機械的に行えるようにする。

【解決手段】 3次元形状のモデルを構成するパッチに対応付けて形状解析木のノードを生成する解析木ノード生成部10と、この解析木ノード生成部10により生成されたノードのうち、幾何的な隣接関係のあるノードの間にエッジを生成することにより近傍グラフを生成する近傍グラフ生成部20と、このパッチの形状に連続性があるノードを先に融合する条件に基づいて、近傍グラフ生成部20により生成された近傍グラフにおけるノードのうちエッジを張られたノードどうしを融合し、この融合により得られた新たなノードを親ノードとし融合前のノードを子ノードとする形状解析木を生成する解析木生成部30とを備える。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 3次元形状のモデルを構成するパッチごとに当該パッチを内包する単純図形を生成し、かつ当該単純図形に対応付けて形状解析木のノードを生成する解析木ノード生成部と、

前記解析木ノード生成部により生成された前記ノードのうち、幾何的な隣接関係のあるノードの間にエッジを生成することにより近傍グラフを生成する近傍グラフ生成部と、

前記パッチの形状に連続性があるノードを先に融合する条件に基づいて、前記近傍グラフ生成部により生成された前記近傍グラフにおける前記ノードのうちエッジを張られたノードどうしを融合し、融合されたノードに含まれる各パッチを内包する新たな単純図形に対応付けて新たなノードを生成すると共に、当該融合により得られた新たなノードを親ノードとし融合前の前記ノードを子ノードとする形状解析木を生成する解析木生成部とを備えることを特徴とする形状解析システム。

【請求項2】 前記解析木ノード生成部は、3次元形状のモデルの各パッチを入力し、個々のパッチに関して、当該パッチのオブジェクトを内包する単純図形を生成し、前記単純図形に対応させて、前記単純図形の大きさに関する情報及び前記単純図形に内包される前記オブジェクトの面の連続性に関する情報を持つノードを生成することを特徴とする請求項1に記載の形状解析システム。

【請求項3】 前記解析木生成部は、前記近傍グラフ生成部により生成された前記近傍グラフにおける前記ノードのうちエッジを張られたノードに対し、当該ノードが持つ前記オブジェクトの面の連続性に関する情報に基づいて、前記パッチの形状に連続性があるノードを融合して、新たなノード及び当該新たなノードを親ノードとする前記部分的な形状解析木を生成し、前記新たなノード及び前記オブジェクトの面の連続性に関する情報に基づいて融合されなかったノードに対し、当該新たなノード及び当該融合されなかったノードに対応する前記単純図形の大きさに関する情報に基づいて、前記近傍グラフにおける各ノードが一つの形状解析木に包含されるまでノードを融合することを特徴とする請求項2に記載の形状解析システム。

【請求項4】 3次元形状のモデルを構成するパッチに対応して、当該モデルに関するパッチごとの幾何情報を格納したノードを生成するノード生成部と、前記解析木ノード生成部により生成された前記ノードを用いて、前記モデルにおける幾何的な隣接関係を反映させた近傍グラフを生成する近傍グラフ生成部と、前記近傍グラフ生成部にて生成された前記近傍グラフに基づいて、前記モデルにおいて対応する前記パッチが隣接するノードどうしを融合し、当該融合により得られた新たなノードを親ノードとし融合前の前記ノードを子ノ

ードとする形状解析木を生成する解析木生成部とを備えることを特徴とする形状解析システム。

【請求項5】 3次元形状のモデルを構成するパッチに対応し当該モデルに関するパッチごとの幾何情報を格納したノードを有し、当該パッチの幾何情報を反映させた木構造を入力する入力部と、

前記木構造を比較し差分を検出する差分検出部とを備えることを特徴とする3次元形状モデルの差分検出システム。

【請求項6】 3次元形状のモデルを構成する前記パッチは、位相状態を含まないデータフォーマットに対応していることを特徴とする請求項5に記載の3次元形状モデルの差分検出システム。

【請求項7】 前記差分検出部は、比較対象である複数の形状解析木を階層ごとに比較して、対応するノードが一致しているかどうかを調べ、一致していないと判断されたノードを集めて当該形状解析木の差分とすることを特徴とする請求項5に記載の3次元形状モデルの差分検出システム。

【請求項8】 3次元形状のモデルを構成するパッチに対応し当該モデルに関するパッチごとの幾何情報を格納したノードを有すると共に、当該モデルにおける幾何的な隣接関係を反映させたグラフを入力し、当該グラフから当該モデルの構造を反映させた木構造を生成する木構造生成部と、前記木構造生成部により生成された木構造を比較し差分を検出する差分検出部とを備えることを特徴とする3次元形状モデルの差分検出システム。

【請求項9】 3次元形状のモデルを構成するパッチに対応し当該モデルに関するパッチごとの幾何情報を格納したノードを有すると共に、当該パッチの幾何情報を反映させた木構造を複数入力し、当該木構造を比較することにより当該モデルの類似の度合いを算出する類似度算出部と、

前記類似度算出部により算出された、検索キーとなる所定のモデルにおける前記木構造に対する類似の度合いの高い木構造を検索結果として出力する検索結果出力部とを備えることを特徴とする類似形状検索システム。

【請求項10】 検索キーとなる所定のモデルにおける前記木構造に対して、形状解析木を比較する際の拘束条件を定義する拘束条件付加部をさらに備え、前記類似度算出部は、前記拘束条件付加部により前記検索キーである3次元形状のモデルの木構造に付加された前記拘束条件を考慮して前記木構造を比較することを特徴とする請求項9に記載の類似形状検索システム。

【請求項11】 前記類似度算出部は、検索キーである所定の3次元形状のモデルにおける木構造と全体的に類似する木構造を前記モデルにおける類似の度合いが高いと判断する木構造全体を対象とした比較、または、前記検索キーである木構造と部分的な条件が一致または類似

する木構造を前記モデルにおける類似の度合いが高いと判断する部分的な木構造を対象とした比較を行うことを特徴とする請求項9に記載の類似形状検索システム。

【請求項12】 3次元形状のモデルを構成するパッチごとに当該パッチを内包する単純図形を生成し、かつ当該単純図形に対応付けて形状解析木のノードを生成するステップと、

生成された前記ノードのうち、幾何的な隣接関係のあるノードの間にエッジを生成することにより近傍グラフを生成するステップと、

前記パッチの形状に連続性があるノードを先に融合する条件に基づいて、前記近傍グラフにおける前記ノードのうちエッジを張られたノードどうしを融合し、融合されたノードに含まれる各パッチを内包する新たなバウンディングボックスに対応付けて新たなノードを生成すると共に、当該融合により得られた新たなノードを親ノードとし融合前の前記ノードを子ノードとする形状解析木を生成するステップとを含むことを特徴とする形状解析方法。

【請求項13】 3次元形状のモデルを構成するパッチから、当該パッチに対応して当該モデルに関するパッチごとの幾何情報を格納したノードを有し、当該パッチの幾何情報関係を反映させた木構造を生成するステップと、

前記木構造を比較することにより、前記モデルの差異を検出するステップとを含むことを特徴とする3次元形状モデルの差異検出方法。

【請求項14】 3次元形状のモデルを構成するパッチに対応し当該モデルに関するパッチごとの幾何情報を格納したノードを有すると共に、当該パッチの幾何情報を反映させた木構造を複数入力し、当該木構造を比較することにより当該モデルの類似の度合いを算出するステップと、

比較の結果、検索キーとなる所定のモデルにおける木構造に対する類似の度合いの高い木構造を検索結果として出力するステップとを含むことを特徴とする類似形状検索方法。

【請求項15】 前記類似の度合いを算出するステップは、

検索キーである所定の3次元形状のモデルにおける木構造と全体的に類似する木構造を前記モデルに対する類似の度合いが高いと判断する木構造全体を対象とした比較を行うステップと、

検索キーである前記木構造と部分的な条件が一致または類似する木構造を前記モデルに対する類似の度合いが高いと判断する部分的な木構造を対象とした比較を行うステップとを選択的に実行することを特徴とする請求項14に記載の類似形状検索方法。

【請求項16】 設計変更前後の3次元形状のモデルを入力し、

前記モデルを構成するパッチに対応したノードを有すると共に当該パッチの幾何情報を反映させた木構造を用いて前記モデルの形状を解析することにより前記設計変更のあった箇所を検出し、

検出された前記設計変更のあった箇所を特定した解析結果を出力することを特徴とする形状解析方法。

【請求項17】 前記3次元形状のモデルを表示する表示画面において、当該モデルを構成する前記パッチのうちの前記設計変更のあった箇所のパッチを明示することにより当該設計変更の合った箇所を特定することを特徴とする請求項16に記載の形状解析方法。

【請求項18】 コンピュータに実行させるプログラムを当該コンピュータの入力手段が読取可能に記憶した記憶媒体において、

前記プログラムは、

3次元形状のモデルを構成するパッチごとに当該パッチを内包する単純図形を生成し、かつ当該単純図形に対応付けて形状解析木のノードを生成する処理と、生成された前記ノードのうち、幾何的な隣接関係のあるノードの間にエッジを生成することにより近傍グラフを生成する処理と、

前記パッチの形状に連続性があるノードを先に融合する条件に基づいて、前記近傍グラフにおける前記ノードのうちエッジを張られたノードどうしを融合し、融合されたノードに含まれる各パッチを内包する新たなバウンディングボックスに対応付けて新たなノードを生成すると共に、当該融合により得られた新たなノードを親ノードとし融合前の前記ノードを子ノードとする形状解析木を生成する処理とを前記コンピュータに実行させることを特徴とする記憶媒体。

【請求項19】 コンピュータに、

3次元形状のモデルを構成するパッチごとに当該パッチを内包する単純図形を生成し、かつ当該単純図形に対応付けて形状解析木のノードを生成する処理と、生成された前記ノードのうち、幾何的な隣接関係のあるノードの間にエッジを生成することにより近傍グラフを生成する処理と、前記パッチの形状に連続性があるノードを先に融合する条件に基づいて、前記近傍グラフにおける前記ノードのうちエッジを張られたノードどうしを融合し、融合されたノードに含まれる各パッチを内包する新たなバウンディングボックスに対応付けて新たなノードを生成すると共に、当該融合により得られた新たなノードを親ノードとし融合前の前記ノードを子ノードとする形状解析木を生成する処理とを実行させるプログラムを記憶する記憶手段と、

前記記憶手段から前記プログラムを読み出して当該プログラムを送信する送信手段とを備えたことを特徴とするプログラム伝送装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、電子化された製品の形状データを解析し、複数の製品の形状を比較したり形状が類似する製品を検索するための形状解析システムに関する。

【0002】

【従来の技術】今日、製造業においては、製品に関する種々の情報を電子化し、データベースに格納して管理することが広く行われている。製品の形状や部品構成といった情報についても、ソリッドモデルやサーフェースモデル（以下、これらを併せてソリッド／サーフェースモデルと称す）などの形状データとして、データベースで電子的に管理している。

【0003】製造業における製品のソリッド／サーフェースモデルの管理は、PDM (Product Data Management) やVPDM (Visual Product Data Management) によって行われる。しかし、これらのシステムに登録する前の段階では、ソリッド／サーフェースモデルは設計部門において設計者個人が管理している。したがって、設計変更などに伴うデータの更新は、当該個人が手作業で行っていた。

【0004】また、通常、製品の開発には、設計部門や製造部門など、複数の作業部門が関わる。したがって、データがPDMやVPDMに登録される前の段階では、一つの製品に関するデータが、各作業部門において使用されるデータベースにそれぞれ存在する場合がある。特に、所定の作業を外部の業者に注文する場合には、異なる機械CADシステムを用いている場合があることから、このような事態が起こりやすい。このような場合、いずれかの作業部門でデータの更新が行われたならば、他の作業部門のデータベースにおいても当該データを更新して同期させることが必要となる。従来は、この更新作業も手作業で行われていた。

【0005】また、製造業では、設計作業において過去の設計データを効率的に再利用することが大きな課題の一つである。部品のセットがある程度決まっており、部品番号によって系統立てて分類できる標準部品に関しては、部品番号を用いた管理方法が適している。部品番号により系統立てた管理ができるため、設計作業において過去の設計データを利用しようとする場合にも、適切な部品を検出することが容易である。

【0006】しかし、必要に応じて標準部品から派生したり、新たに設計されたりする標準部品は、部品番号による系統立った管理が難しい。そのため、ソリッドモデルやサーフェースモデルを用いた電子化されたデータベースを用いて部品管理を行う場合でも、標準部品等の系統だった管理の困難なものに関しては、データベースの更新及びデータ整備が遅れがちとなりやすい。したがって、設計作業において過去の標準部品の設計データを利用しようとしても、適切な部品を検出することが容易ではない。そして、個々の設計者は過去の生産品の

中から目的の部品を探す手間を省くために、必要な部品を新造し、さらに標準部品の種類が増えてしまうという悪循環が生じてしまっていた。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】上記のように、従来、製造業における製品管理を電子的に行う場合、設計段階で行われる細かい変更をデータベースに反映させるための更新作業や、複数の作業部門におけるデータベースを同期させるための更新作業を、手作業で行っていた。そのため、人為的な誤操作が起きるおそれがあった。

【0008】特に、製造業の上流部門と下流部門との間で協業が行われる場合、共有するソリッド／サーフェースモデルの作成や変更における誤操作が上流部門で起きると、大きな損害が発生する場合があった。例えば、更新前のソリッド／サーフェースモデルに基づいて金型を発注したために、組み立て工程で部品が干渉し、再度更新後のソリッド／サーフェースモデルに基づいて金型を発注しなおさなければならないといった事態が起きるおそれがある。

【0009】データベース上でソリッド／サーフェースモデルの作成や変更に伴うデータの更新を機械的に行うためには、二つのソリッド／サーフェースモデルを比較してその差分を検出する作業が必要となる。従来の技術を用いてこの作業を機械的に行う手法または支援する手法はいくつか考えられるが、いずれも問題がある。

【0010】まず、機械CADシステムなどの3次元形状編集機能を用いて、比較するモデルを重ね合わせて表示し、差異の検出を支援することが考えられる。この場合、レンダリングの際に一般的に使われるz-bufferを利用する手法では、重なり合う面に干渉縞ができてしまうため、微少な差異と干渉縞とを見分けることが困難である。また、通常、z-bufferハードウェア中の表示エンジンの中で実現されているため、ソフトウェアにより自動的に差異を抽出することも困難である。レイ・トレーシング (ray-tracing) 機能を用いれば、理論的には二つのモデルの差違を見つけ出すことは可能である。しかし、レンダリング1回あたりのコストが高くなる上、モデル間の差違を自動的に抽出しようとする、重ね合わせたモデルを様々な方向からレンダリングしなければならないため、非常に効率が悪くなる。

【0011】また、機械CADによって生成されるモデルの位相情報を利用し、パッチの分割を探すことにより、二つのモデルの差異を検出する方法が考えられる。しかし実際には、形状を定義するパッチの細分化は、モデルに変形が加えられた時、1個のモデルに対する作業を分業で行うために当該モデルを分割する時、及びフォーマット変換時の各段階で発生する。また、実際の作業は、多くの試行錯誤を経た結果として得られるものである。このため、最終的にできあがったモデルのパッチ分割の内、どの分割が最終的な形状変更に伴う分割かを、

パッチの分割の有無のみから見つけ出すことは不可能である。さらにまた、分割されたパッチを検出し、分割前後のパッチを対応付けること自体も、分割の課程のログを取っていないければ、複雑なグラフどうしの比較となるため、計算コストがかさむ。そしてさらに、異なる機械CADシステム間で図形などのデータを交換する場合に利用するファイル・フォーマットの一つであるIGES (Initial GraphicExchange Specification) のようにバラバラに定義されたパッチの集合を比較するには、最悪の場合、パッチ及びパッチの組み合わせによる総当たりの比較を行うこととなり、処理の工数が膨大となるため現実的ではない。

【0012】操作ログを取ることにしても、極めて煩雑な作業を必要とするため、現実的ではない。すなわち、上述したように実際の作業には多くの試行錯誤があるので、結果的に小さい変更であっても、膨大な操作ログが発生する可能性がある。また、この方法を実現するには機械CADシステムに変更を加える必要がある。さらに、同一モデルから派生した複数のモデルを比較しようとする場合、派生元であるモデルについても比較することが必要となる。

【0013】また、集合演算によってモデルの差分をとる方法も考えられる。しかし、複雑な形状の差集合を算出する場合、非常に計算コストがかかる。場合によっては有為な時間で計算を終えることが不可能となる。

【0014】また、標準部品のように、系統立った管理が難しい製品では、データベースの更新及びデータ整備が遅れがちとなりやすく、過去の設計データを有効に利用することができなかった。したがって、データベース上で、電子化された部品の形状データを比較し、設計変更などによるデータの更新を即時に行うと共に、過去の設計データの中から必要な部品と形状の類似する、すなわち流用できる可能性のある部品を機械的に検索する技術が必要とされる。従来、この種の作業に利用される3次元の類似形状の検索技術は存在したが、機能が不十分であった。

【0015】例えば、「8φのホースが2本留められるホースクリップ」を検索する場合を考える。この場合、検索条件として、「8φ」という幾何情報と「2本」すなわち2個又は2個以上の穴という位相情報を組み合わせて検索を行うことが必要となる。しかし、従来の3次元の類似形状の検索技術は、専ら幾何情報に基づくものであったため、位相的類似性と幾何的類似性を組み合わせた検索を行うことができなかった。

【0016】また、検索の基準となる部品の形状モデルがあり、そのうちの「所定の箇所の寸法が60mm以上で80mm以下の部品」を検索する場合を考える。しかし、このように検索キーとなるモデルの一定の部分に、幾何的拘束条件あるいは位相的拘束条件を与えて検索を行うことは、従来の幾何情報のみに基づく類似形状検索

技術では対応できなかった。

【0017】さらに、データベースから「テーブル」を検索する場合、代表的なテーブルの幾何形状から検索を行うよりも、「板の四隅に4本の足の付いたオブジェクト」というような位相情報に基づいた検索を行った方が良い結果を期待できる。しかし、従来3次元の類似形状の検索技術は、専ら幾何情報に基づくものであったため、このような移送情報に基づいた検索を行うことができなかった。

【0018】本発明は以上のような技術的課題を解決するためになされたものであって、データベース上で、電子化された部品の形状データを機械的に比較し、差分を検出できるようにする。これにより、設計変更などによるデータの更新を機械的かつ即時に行うことができるようにする。

【0019】また、電子化された部品の形状データを比較して、過去の設計データの中から必要な製品と形状の類似する製品を機械的に検出できるようにする。特に、幾何情報に加えて位相情報も加味した類似形状の検索を実現する。

【0020】

【課題を解決するための手段】かかる目的のもと、本発明は、3次元モデルの形状を解析する次のような形状解析システムを実現する。すなわち、3次元形状のモデルを構成するパッチごとにこのパッチを内包する単純図形を生成し、かつこの単純図形に対応付けて形状解析木のノードを生成する解析木ノード生成部と、この解析木ノード生成部により生成されたノードのうち、幾何的な隣接関係のあるノードの間にエッジを生成することにより近傍グラフを生成する近傍グラフ生成部と、このパッチの形状に連続性があるノードを先に融合する条件に基づいて、近傍グラフ生成部により生成された近傍グラフにおけるノードのうちエッジを張られたノードどうしを融合し、融合されたノードに含まれる各パッチを内包する新たな単純図形に対応付けて新たなノードを生成すると共に、この融合により得られた新たなノードを親ノードとし融合前のノードを子ノードとする形状解析木を生成する解析木生成部とを備える。このような構成とすれば、3次元形状のモデルのパッチ単位における構造を反映させた解析木を生成することができるため、この解析木を用いることにより、モデルの画像を視認しただけでは判断が難しい小さな差異や設計変更の検出、類似するモデルの検索などが容易になる。なお、単純図形とは、3次元形状のモデルのパッチを抽象化して扱うための枠組みである。一般的には直方体のバウンディングボックスが用いられるが、球や円柱などの他の単純な形状の図形を用いても良い。

【0021】ここで、この解析木ノード生成部は、3次元形状のモデルの各パッチを入力し、個々のパッチに関して、このパッチのオブジェクトを内包する単純図形を

生成し、この単純図形に対応させて、この単純図形の大きさに関する情報及びこの単純図形に内包されるオブジェクトの面の連続性に関する情報を持つノードを生成することを特徴としている。オブジェクトの面の連続性とは、所定のパッチにおけるオブジェクト（3次元形状のモデルにおける当該パッチに対応する部分）の面が平面や曲面で連続しているかどうかを示す。面の連続性を示す情報としては、例えばこの面の曲率や法線ベクトルの分布を用いることができる。また、面の連続性は、隣接する複数のパッチにおけるオブジェクトの面についても判断することができる。

【0022】さらに解析木生成部は、近傍グラフ生成部により生成された近傍グラフにおけるノードのうちエッジを張られたノードに対し、このノードが持つオブジェクトの面の連続性に関する情報に基づいて、パッチの形状に連続性があるノードを融合して、新たなノード及びこの新たなノードを親ノードとする部分的な形状解析木を生成し、この新たなノード及びオブジェクトの面の連続性に関する情報に基づいて融合されなかったノードに対し、この新たなノード及び融合されなかったノードに対応する単純図形の大きさに関する情報に基づいて、近傍グラフにおける各ノードが一つの単純形状に融合されるまでノードを融合することを特徴としている。単純図形の大きさに関する情報に基づくノードの融合は、例えば、近傍グラフにおいてエッジで結ばれた任意の単純図形同士を融合したとき、融合後の単純図形の大きさが小さい単純図形の組み合わせから順に融合することによって実現できる。

【0023】また、本発明は、3次元モデルの形状解析システムとして、3次元形状のモデルを構成するパッチに対応して、このモデルに関するパッチごとの幾何情報を格納したノードを生成するノード生成部と、この解析木ノード生成部により生成されたノードを用いて、このモデルにおける幾何的な隣接関係を反映させた近傍グラフを生成する近傍グラフ生成部と、この近傍グラフ生成部にて生成された近傍グラフに基づいて、このモデルにおいて対応するパッチが隣接するノードどうしを融合し、この融合により得られた新たなノードを親ノードとし融合前のノードを子ノードとする形状解析木を生成する解析木生成部とを備えることを特徴としている。

【0024】さらにまた、本発明は、次のような3次元モデルの差分検出システムを実現する。すなわち、3次元形状のモデルを構成するパッチに対応して、このモデルに関するパッチごとの幾何情報を格納したノードを生成するノード生成部と、この解析木ノード生成部により生成されたノードを用いて、このモデルにおける幾何的な隣接関係を反映させた近傍グラフを生成する近傍グラフ生成部と、この近傍グラフ生成部にて生成された近傍グラフに基づいて、このモデルにおいて対応するパッチが隣接するノードどうしを融合し、この融合により得ら

れた新たなノードを親ノードとし融合前のノードを子ノードとする形状解析木を生成する解析木生成部とを備える。このような構成とすれば、3次元モデルの構造を反映した解析木の木構造により複数のモデルの形状を比較できるため、3次元モデルの画像を視認しただけでは検出が困難な微小な差異を容易に検出することができる。特に、所定のモデルにおける設計変更前後のデータを用いて差異の検出を行えば、設計変更の行われた箇所を自動的に検出することが可能となる。

【0025】ここで、差分検出に用いる木構造を生成するためのデータとなる、3次元形状のモデルを構成するパッチは、位相状態を含まないデータフォーマットに対応したものをを用いることができる。具体的には、多くの機械CADシステムで出力可能なIGESなどがある。IGESに対応したデータを利用可能とすることにより、極めて汎用性の高いシステムとすることができる。

【0026】さらにここで、差分検出部は、比較対象である複数のモデルに対応する解析木の木構造を根から階層ごとに比較して、それぞれ対応するノードを根とする解析木の部分木が一致しているかどうかを調べ、一致していないと判断された部分木のみをさらに階層ごとに比較してゆき、当該比較によって得られた一致していないノードを集めてこの形状解析木の差分とすることを特徴としている。具体的な手法として、階層ごとに部分木を対応付けたリストを作成し、比較した結果として一致した部分木をこのリストから削除し、一致していない部分木のみを残して差分を示すリストを作成することができる。部分木が一致しているかどうかは、部分木に対応するモデルの形状を数値化したものを比較することによって検出可能である。

【0027】また、本発明は、3次元形状モデルの差分検出システムとして、3次元形状のモデルを構成するパッチに対応しこのモデルに関するパッチごとの幾何情報を格納したノードを有すると共に、このモデルにおける幾何的な隣接関係を反映させたグラフを入力し、このグラフから当該モデルの構造を反映させた木構造を生成する木構造生成部と、この木構造生成部により生成された木構造を比較し差分を検出する差分検出部とを備えることを特徴としている。

【0028】さらにまた、本発明は、次のような類似形状検索システムを実現することができる。すなわち、3次元形状のモデルを構成するパッチに対応しこのモデルに関するパッチごとの幾何情報を格納したノードを有すると共に、このパッチの幾何情報を含む当該モデルの構造を反映させた木構造を複数入力し、この木構造を比較することによりこのモデルの類似の度合いを算出する類似度算出部と、この類似度算出部により算出された、検索キーとなる所定のモデルにおけるこの木構造に対する類似の度合いの高い木構造を検索結果として出力する検索結果出力部とを備える。このような構成とすれば、3

次元モデルの構造を反映した木構造により複数のモデルの形状を比較できるため、木構造とそのノードを比較することにより、検索キーとなるモデルに形状が類似するモデルを機械的に検索することが可能となる。

【0029】ここで、検索キーとなる所定のモデルにおける前記木構造に対して、形状解析木を比較する際の拘束条件を定義する拘束条件付加部をさらに備えることにより、類似度算出部は、この拘束条件付加部により検索キーである3次元形状のモデルの木構造に付加された拘束条件を考慮して木構造を比較する構成とすることができる。このような構成とすれば、形状の類否を判断する上で、特に重視すべき条件を拘束条件として指定できる点で好ましい。拘束条件としては、幾何的条件や位相的条件を指定することができる。具体的には、特定の面が曲面であること、特定の箇所にて穴が二つあることといった条件を満たすことを優先させて、検索キーであるモデルに形状が類似するモデルを検索することができる。

【0030】さらにここで、類似度算出部は、検索キーである所定の3次元形状のモデルにおける木構造と全体的に類似する木構造をこのモデルにおける類似の度合いが高いと判断する木構造全体を対象とした比較、または、検索キーである木構造と部分的な条件が一致または類似する木構造をこのモデルにおける類似の度合いが高いと判断する部分的な木構造を対象とした比較を行うことを特徴としている。このような構成とすれば、部分的な木構造を対象とした比較を行う場合に、全体的な形状の類否は考慮せず、特定の幾何的または位相的条件を満たすモデルを検索できる点で好ましい。

【0031】また、本発明によれば、次のような3次元形状モデルの形状解析方法を実現する。すなわち、3次元形状のモデルを構成するパッチごとにこのパッチを内包する単純図形を生成し、かつこの単純図形に対応付けて形状解析木のノードを生成するステップと、生成されたノードのうち、幾何的な隣接関係のあるノードの間にエッジを生成することにより近傍グラフを生成するステップと、このパッチの形状に連続性があるノードを先に融合する条件に基づいて、この近傍グラフにおけるノードのうちエッジを張られたノードどうしを融合し、融合されたノードに含まれる各パッチを内包する新たなバウンディングボックスに対応付けて新たなノードを生成すると共に、この融合により得られた新たなノードを親ノードとし融合前のノードを子ノードとする形状解析木を生成するステップとを含む形状解析方法である。

【0032】さらに、本発明によれば、次のような3次元形状モデルの差異検出方法を実現する。すなわち、3次元形状のモデルを構成するパッチから、このパッチに対応してこのモデルに関するパッチごとの幾何情報を格納したノードを有し、このパッチの幾何情報を反映させた木構造を生成するステップと、この木構造を比較することにより、モデルの差異を検出するステップとを含む

差異検出方法である。このような構成とすれば、3次元モデルの構造を反映した木構造により複数のモデルの形状を比較できるため、モデルの形状における差異を自動的に検出することができる。

【0033】さらにまた、本発明によれば、次のような類似形状検索方法を実現する。すなわち、3次元形状のモデルを構成するパッチに対応しこのモデルに関するパッチごとの幾何情報を格納したノードを有すると共に、このパッチの幾何情報を含む当該モデルの構造を反映させた木構造を複数入力し、この木構造を比較することによりこのモデルの類似の度合いを算出するステップと、比較の結果、検索キーとなる所定のモデルにおける木構造に対する類似の度合いの高い木構造を検索結果として出力するステップとを含む類似形状検索方法である。このような構成とすれば、3次元モデルの構造を反映した木構造により複数のモデルの形状を比較できるため、検索キーであるモデルに形状が類似するモデルを自動的に検索することができる。

【0034】ここで、類似の度合いを算出するステップは、検索キーである所定の3次元形状のモデルにおける木構造と全体的に類似する木構造をこのモデルに対する類似の度合いが高いと判断する木構造全体を対象とした比較を行うステップと、検索キーである木構造と部分的な条件が一致または類似する木構造をこのモデルに対する類似の度合いが高いと判断する部分的な木構造を対象とした比較を行うステップとを選択的に実行する構成とすることができる。このような構成とすれば、部分的な木構造を対象とした比較を行う場合に、全体的な形状の類否は考慮せず、特定の幾何的または位相的条件を満たすモデルを検索でき、さらに全体的な形状における類似検索と選択的に切り替えながら実行できる点で好ましい。

【0035】また、本発明は、次のような3次元モデルの形状解析方法を実現する。すなわち、設計変更前後の3次元形状のモデルを入力し、このモデルを構成するパッチに対応したノードを有すると共にこのパッチの位置関係を反映させた木構造を用いてこのモデルの形状を解析することにより設計変更のあった箇所を自動的に検出し、検出された設計変更のあった箇所を特定した解析結果を出力する形状解析方法である。このような構成とすれば、ユーザは設計変更の有無を意識することなく、同一のモデルに対する二つのデータを入力して解析することにより、設計変更があればこれを自動的に検出し、変更箇所を特定できる点で優れている。

【0036】ここで、3次元のモデルを表示する表示画面において、このモデルを構成するパッチのうちの設計変更のあった箇所のパッチを明示することにより設計変更の合った箇所を特定する構成とすることができる。このような構成とすることにより、設計変更のあった箇所を容易に視認できる形で出力できる点で好ましい。な

お、明示の手段としては、例えば、設計変更のあったパッチを他のパッチと色違いで表示したりするといった方法がある。

【0037】また、本発明は、コンピュータに実行させるプログラムをこのコンピュータの入力手段が読取可能に記憶した記憶媒体において、このプログラムは、3次元形状のモデルを構成するパッチごとに当該パッチを内包する単純図形を生成し、かつこの単純図形に対応付けて形状解析木のノードを生成する処理と、生成されたノードのうち、幾何的な隣接関係のあるノードの間にエッジを生成することにより近傍グラフを生成する処理と、このパッチの形状に連続性があるノードを先に融合する条件に基づいて、この近傍グラフにおけるノードのうちエッジを張られたノードどうしを融合し、融合されたノードに含まれる各パッチを内包する新たなバウンディングボックスに対応付けて新たなノードを生成すると共に、この融合により得られた新たなノードを親ノードとし融合前のノードを子ノードとする形状解析木を生成する処理とを前記コンピュータに実行させることを特徴としている。このような構成とすることにより、このプログラムをインストールした全てのコンピュータにおいて、3次元形状のモデルの構造を解析木によって表現することが可能となる。また、この解析木を用いてモデルの形状の差異を検出したり、類似するモデルを検索したりすることができる。

【0038】また、本発明によれば、コンピュータに、3次元形状のモデルを構成するパッチごとにこのパッチを内包する単純図形を生成し、かつこの単純図形に対応付けて形状解析木のノードを生成する処理と、生成された前記ノードのうち、幾何的な隣接関係のあるノードの間にエッジを生成することにより近傍グラフを生成する処理と、このパッチの形状に連続性があるノードを先に融合する条件に基づいて、この近傍グラフにおけるノードのうちエッジを張られたノードどうしを融合し、融合されたノードに含まれる各パッチを内包する新たなバウンディングボックスに対応付けて新たなノードを生成すると共に、この融合により得られた新たなノードを親ノードとし融合前のノードを子ノードとする形状解析木を生成する処理とを実行させるプログラムを記憶する記憶手段と、この記憶手段からこのプログラムを読み出してこのプログラムを送信する送信手段とを備えたことを特徴としている。このような構成とすることにより、このプログラムをダウンロードした全てのコンピュータにおいて、3次元形状のモデルの構造を解析木によって表現することが可能となる。また、この解析木を用いてモデルの形状の差異を検出したり、類似するモデルを検索したりすることができる。

【0039】

【発明の実施の形態】以下、添付図面に示す実施の形態に基づいてこの発明を詳細に説明する。本発明は、処理

対象である製品のソリッド／サーフェースモデルを用いて当該製品の形状を特定する階層的な形状解析木(Hierarchical Bounding Tree: 以下、単に解析木と称す)を生成する。そして、生成された解析木を用い、複数のソリッド／サーフェースモデルの各解析木を比較して差分を検出したり、検索の基準となるソリッド／サーフェースモデル(以下、リファレンスモデルと称す)に形状が類似する製品をソリッド／サーフェースモデルのデータベースの中から検索したりする。以下の説明では、第1の実施の形態としてソリッド／サーフェースモデルの形状を解析して解析木を生成する形状解析システムを説明し、第2の実施の形態として解析木を用いて複数のソリッド／サーフェースモデルの各解析木を比較して形状の差分を検出するソリッド／サーフェースモデル差分検出システムを説明し、第3の実施の形態として解析木を用いて複数のソリッド／サーフェースモデルの類比を判断する類似形状検索システムを説明する。

【0040】〔第1の実施の形態〕図1は、本発明の第1の実施の形態における形状解析システムの全体構成を説明する図である。図1において、符号10は解析木ノード生成部であり、ソリッド／サーフェースモデルの解析木のノードを生成する。符号20は近傍グラフ生成部であり、解析木ノード生成部10にて生成された解析木のノードの集合を用いて近傍グラフを生成する。符号30は解析木生成部であり、近傍グラフ生成部20にて生成された近傍グラフのノードを融合することにより階層構造を持った解析木を生成する。

【0041】上記構成において、解析木ノード生成部10は、解析対象である製品のソリッド／サーフェースモデルを入力し、当該ソリッド／サーフェースモデルを構成する各パッチに対してバウンディングボックスを生成する。そして、当該バウンディングボックスに対応付けてノードを生成する。

【0042】図2は解析木ノード生成部10の動作を説明するフローチャートである。図2を参照すると、解析木ノード生成部10は、まず、ソリッド／サーフェースモデルの各パッチを入力し(ステップ201)、個々のパッチに関して、当該パッチの部分(オブジェクト)を内包するバウンディングボックスを生成する(ステップ202)。バウンディングボックスとは、当該パッチ(オブジェクト)を抽象化して扱うための直方体の枠組みであり、当該パッチ(オブジェクト)に外接する。なお、直方体のバウンディングボックスの代わりに、球や円柱などの他の単純な形状の図形を用いて個々のパッチを抽象化することも可能である。次に、当該バウンディングボックスのスケール尺度を算出する(ステップ203)。スケール尺度は、例えば、バウンディングボックスの対角線方向の長さで表現することができる。また、バウンディングボックスの代わりに球を用いる場合は、直径をスケール尺度とすることもできる。次に、当該バ

ッチの部分（オブジェクト）における面に関する情報（以下、面情報と称す）を取得する（ステップ204）。ここで取得される情報は、面の連続性に関する情報である。本実施の形態では、曲率及び法線ベクトルの分布が算出されることとする。次に、当該パッチの部分（オブジェクト）の幾何形状データを算出する（ステップ205）。幾何形状データとは、オブジェクトにおける幾何的な特徴を数値化したデータであり、この数値を比較することにより、オブジェクトの幾何形状を比較することができる。幾何形状を数値化する方法は、従来から種々の方法が考案されており、いずれの方法を用いても良い。この後、当該パッチのバウンディングボックスに対応したノードを生成して出力する（ステップ206）。このようにして解析木ノード生成部10から出力されるノードは、自ノードに属するパッチのリストと、ステップ205までの処理で得られた各情報、すなわち、自ノードに属するパッチのバウンディングボックス、自ノードのスケール尺度、自ノードに属するパッチの面情報及び自ノードに属するパッチの幾何形状データを保持する。また、穴を表現するパッチのような負のボリュームを持つノードと通常の正のボリュームを持つノードとを区別する情報を設定し、ノードに保持するようにしても良い。

【0043】近傍グラフ生成部20は、解析木ノード生成部10により生成されたノードの集合に対して、幾何的な隣接関係のあるノード間にエッジを生成することにより、近傍グラフを作成する。図3乃至図5を参照し、具体的な例を挙げて説明する。図3は解析対象である段付きの穴のサーフェースモデルを示す図である。この段付きの穴は、大きい径の穴の底部（図では上面）に小さい径の穴があいた形状である。

【0044】図4は図3のサーフェースモデルを構成するパッチを示す図である。図示のように、図3のサーフェースモデルは、パッチa～eの5個のパッチで表現されているものとする。図3及び図4を参照すると、パッチaとパッチb、パッチaとパッチc、パッチaとパッチd、パッチbとパッチc、パッチbとパッチe、パッチcとパッチd、パッチcとパッチe、及びパッチdとパッチeがそれぞれ幾何的な隣接関係にあることがわかる。

【0045】図5は図4に示すパッチに対応するノードから生成された近傍グラフを示す図である。図5を参照すると、パッチa～eに対応して生成されたノードa～eにおいて、隣接関係にあるノードaとノードb、ノードaとノードc、ノードaとノードd、ノードbとノードc、ノードbとノードe、ノードcとノードd、ノードcとノードe、及びノードdとノードeの間にそれぞれエッジが生成されている。なお、近傍グラフを構成する各ノードは、解析木ノード生成部10にて生成されたノードである。

【0046】解析木生成部30は、近傍グラフ生成部20にて生成された近傍グラフを用いて解析木を生成する。解析木の生成は、近傍グラフの各ノードを所定の規則に従って順次融合させてゆくことにより行う。ノードを融合させる規則として、本実施の形態では、解析木ノード生成部10の処理において得られた面情報とスケール尺度とを用い、2段階の処理を行う。すなわち、形状として連続性のある部分を先に融合し、さらに隣接グラフのエッジで結ばれるノード対を内包するバウンディングボックスの大きさ（ノード対融合後のパッチ自体の大きさに準ずる）にしたがって、全てのノードが一つにまとめられるまで融合する。複数のノード対の融合後のバウンディングボックスが同一であったり、ノード対を融合後のバウンディングボックスに他のノードが内包される場合にはこれらのノードを全て同時に融合する。そして、ノードを融合した際に、融合前のノードを子ノードとし、融合後のノードを親ノードとする木構造を生成する。すなわち、個々の融合された部分の内包関係が木構造の親子関係に反映されるようにする。これにより、最終的にノードが一つにまとめられると、当該木構造も一つにまとめられて、1個の解析木が生成されることとなる。なお、ノードを融合した際には、融合した各ノードに対応する全てのパッチを内包する新たなバウンディングボックスを生成し、当該ノードを当該バウンディングボックスに対応付ける。そして、新しいノードに対応付くパッチによって面情報および幾何形状データを算出し、バウンディングボックスと共に該当ノードの属性として保持する。

【0047】さらに、解析木生成部30は、生成された解析木において、兄弟関係にある（同一の親を持つ）ノードの層を調べ、ソリッド／サーフェースモデルにおいて、ノードに属するパッチが他の兄弟ノードに属するパッチと隣接していないノードが含まれている層を検索する。そして、そのような層の親ノードを削除し、当該兄弟関係にある各ノードを、一段上の層（すなわち削除した親ノードの層）に移動させる。このようにして解析木を変形し、解析木中の兄弟関係にある全てのノードが兄弟関係にあるいずれかのノードと隣接関係にあるようにすることで比較時の効率をさらに高くすることができる。

【0048】図6は、面情報を用いてノードを融合し解析木を生成する際の解析木生成部30の動作を説明するフローチャートである。図6を参照すると、解析木生成部30は、まず、近傍グラフ生成部20から出力された近傍グラフを入力する（ステップ601）。そして、当該近傍グラフの各エッジに関し、当該エッジの両端に位置するノードの面情報における距離を基準として、ソートしたリスト（エッジ・ソート・リスト）を生成する（ステップ602）。ここで、面情報における距離とは、エッジの両端のノードに関して面情報として取得し

たデータにおける面の連続性を観点とした近似度である。例えば、円筒側面のように滑らかに連続した面を構成するノード間の距離は小さく、立方体を構成する個々の面のように折れ曲がって接続するようなノード間の距離は大きくなるように算出される。本実施の形態で取得した曲率及び法線ベクトルの分布の例では、曲率及び法線ベクトルの分布の値が近い場合を、面情報における距離が近いという。例えば、図4に示したパッチの集合において、エッジ(a b)の両端のパッチaとパッチbとは、一つの円筒を二つに分割した形状であるため、各パッチの面の曲率及び法線ベクトルの分布は連続している。したがって、図5に示したパッチa、パッチbに対応するノードa、ノードbの面情報における距離は最小である。このように、面情報における距離は、当該ノードに属するパッチの面の連続性を表す。

【0049】次に、生成されたエッジ・ソート・リストを参照し、面情報における距離が小さいエッジから順に着目し、当該エッジの両端のノードを融合する(ステップ603)。図4及び図5に示した例では、上述したノードaとノードbが融合される。同様に、ノードdとノードeも面情報における法線ベクトルの分布が連続であるため、融合される。以下の説明では、ノードaとノードbとが融合されて生成される新しいノードをノード{a b}と表記する。このノード{a b}は、パッチaとパッチbとを内包する新たなバウンディングボックスに対応付けられている。このとき、融合された各ノードを子ノードとし、融合後のノードを親ノードとする木構造(部分解析木)が生成される。図4及び図5に示した例では、ノードaとノードbとを子ノードとし、ノード{a b}を親ノードとする木構造と、ノードdとノードeとを子ノードとし、ノード{d e}を親ノードとする木構造とが生成される。なお、面情報における距離の等しいエッジが複数あり、かつこれらが近傍グラフにおいて互いに接続関係にある場合は、それらのエッジにかかるノードの全てを同時に融合する。すなわち、p、q、rという3個のノードがあり、エッジ(p, q)の面情報における距離とエッジ(q, r)の面情報における距離とが同じ値である場合、ノードp、q、rを同時に融合する。ここで、接続関係とは、複数のエッジが同一ノードを共有することである。

【0050】次に、ステップ603におけるノードの融合処理の結果に応じて近傍グラフのノードを更新する(ステップ604)。この際、ノードの融合により新たに生成されたノードに対して、解析木ノード生成部10にてノードに付加された各種の情報と同様の情報、すなわち、自ノードに属するパッチのリスト、自ノードに属するパッチのバウンディングボックス、自ノードのスケール尺度、自ノードに属するパッチの面情報及び自ノードに属するパッチの幾何形状データを付加する。次に、ノード間の面情報における距離が予め設定されたしきい

値以下であって、未処理のエッジがあるかどうかを調べる(ステップ605)。そのようなエッジがある場合には、ステップ602に戻って、ステップ604でノードを更新された新たな近傍グラフに基づいてエッジ・ソート・リストを更新する(ステップ602)。そして、ステップ603、604によるノードの融合、更新処理を繰り返す。なお、しきい値は、形状解析の対象である製品及びそのソリッド/サーフェースモデルに応じて動的に設定可能とすることができ、面情報における距離がパッチの面の連続性を表すことを考慮すれば比較的小さい値を設定することが必要である。

【0051】図7は、ステップ603及びステップ604によりノードの融合、更新が行われた近傍グラフと、これに伴って生成された解析木を示す図である。図7を参照すると、近傍グラフは、ノードaとノードbとが融合されてノード{a b}に更新され、ノードdとノードeとが融合されてノード{d e}に更新されている。また、解析木は、ノード{a b}を親とし、ノードaとノードbとを子とする部分解析木と、ノード{d e}を親とし、ノードdとノードeとを子とする部分解析木とが生成されている。ここで、ノード{a b}、ノードc及びノード{d e}は、各ノード間の面情報における距離がしきい値よりも大きいため、ここまでの動作では融合されなかったものとする。

【0052】ノード間の面情報における距離がしきい値以下の全てのエッジに対して、ノードの融合、更新処理が行われたならば(ステップ605でNo)、スケール尺度を用いた解析木の生成処理に移行する。なお、全てのエッジにかかるノード間の面情報における距離がしきい値以下であった場合、最終的に、全てのノードが一つに融合され、このノードを親とする1個の解析木が生成されることとなる。したがって、次に説明するスケール尺度を用いた解析木の生成処理に移行することなく、生成された解析木を出力して解析木生成部30の動作を終了する。

【0053】図8は、スケール尺度を用いてノードを融合し解析木を生成する際の解析木生成部30の動作を説明するフローチャートである。図8を参照すると、解析木生成部30は、まず、上記の面情報を用いた解析木の生成処理においてノードを融合することにより最終的に得られた新たな近傍グラフを対象とし、新たな近傍グラフのエッジで結ばれる各ノード対のスケール尺度、すなわち当該ノード対におけるバウンディングボックスの大きさに基づいて、エッジ・ソート・リストを新たに生成する(ステップ801)。ここでは、エッジ・ソート・リストは、当該エッジの両端に位置するノードを内包するバウンディングボックスが小さいものから順に並べるものとする。なお、バウンディングボックスは、当該エッジの両端に位置する当該ノード対を融合する際に、当該ノード対に属する全てのパッチ(オブジェクト)を内

包するように生成されたバウンディングボックスである。また、バウンディングボックスの大きさは、解析木ノード生成部10において取得したノードのスケール尺度と同様に、当該ノード対のバウンディングボックスの対角線方向の長さとする。また、エッジの両端のノードにおけるスケール尺度が両方とも同一であるようなエッジが複数存在しかつ互いに接続する場合は、当該エッジの両端に位置するノード対全てを同時に融合する。

【0054】次に、生成されたエッジ・ソート・リストを参照し、バウンディングボックスが小さいノード対をつなぐエッジから順に着目し、当該エッジの両端のノードを融合する(ステップ802)。図4及び図7に示した例では、ノードcとノード{ab}との対、ノードcとノード{de}との対の順にバウンディングボックスが大きくなる。したがって、まず、ノード{ab}とノードcをつなぐエッジ(ab, c)に着目し、ノードを融合する。これにより、ノード{ab}とノードcを子ノードとし、ノード{abc}を親ノードとする木構造が生成される。

【0055】次に、ステップ802におけるノードの融合処理の結果に応じて近傍グラフのノードを更新する(ステップ803)。次に、近傍グラフのノードが複数個あるかどうかを調べ(ステップ804)、複数個ある場合は、ステップ801に戻ってステップ803でノードを更新された新たな近傍グラフに基づいてエッジ・ソート・リストを更新する。そして、ステップ802、803によるノードの融合、更新処理を繰り返す。例えば、図7の近傍グラフに対してノード{abc}が生成された段階では、未だ当該ノード{abc}とノード{de}との対が残っているため、再度ノードの融合、更新を行う。これにより、木構造がノード{abcde}を親ノードとする1個の解析木にまとめられ、かつ近傍グラフはノード{abcde}のみを要素として持つこととなる。図9は、以上のようにして最終的に得られた近傍グラフ及び解析木を示す図である。図9に示すように、近傍グラフのノードが1個となったならば(ステップ804でNo)、生成された解析木を出力して(ステップ805)、解析木生成部30による全ての処理を終了する。

【0056】以上説明した解析木ノード生成部10、近傍グラフ生成部20及び解析木生成部30の処理により、処理対象である製品のソリッド／サーフェースモデルから当該製品の形状を特定する解析木が生成される。生成された解析木は、後述するように、複数のソリッド／サーフェースモデルにおける形状の差分を検出したり、複数のソリッド／サーフェースモデルの類比を判断したりするのに用いられる。

【0057】〔第2の実施の形態〕図10は、本発明の第2の実施の形態におけるソリッド／サーフェースモデル差分検出システムの全体構成を説明する図である。図

10において、解析木ノード生成部10、近傍グラフ生成部20及び解析木生成部30は、図1に示した第1の実施の形態の形状解析システムにおける解析木ノード生成部10、近傍グラフ生成部20及び解析木生成部30と同一である。符号40は差分リスト生成部であり、比較しようとする2個のソリッド／サーフェースモデルに関して、解析木ノード生成部10、近傍グラフ生成部20及び解析木生成部30により生成された解析木の差分を検出する。すなわち、本実施の形態におけるソリッド／サーフェースモデル差分検出システムは、図1に示した第1の実施の形態の形状解析システムに差分リスト生成部40を追加した構成となっている。したがって、解析木ノード生成部10、近傍グラフ生成部20及び解析木生成部30に関しては、同一の符号を付して説明を省略する。

【0058】差分リスト生成部40は、比較対象である2個のソリッド／サーフェースモデルについて生成された2個の解析木を入力して比較し、差分を検出する。図11は、差分リスト生成部40の動作を説明するフローチャートである。図11を参照すると、差分リスト生成部40は、まず、入力した2個の解析木を階層ごとに、すなわち幅優先検索(Breadth First)でトラバースしてノードリストを生成する(ステップ1101)。ノードリストとは、2個の解析木をトラバースして検出したノードをそれぞれ列挙した二つのリストである。以下では、二つのノードリストを区別する場合、ノードリストA、ノードリストBと表記する。解析木のトラバースは階層ごとに行われるので、2個の解析木における同一の階層のノードが同時にリストアップされることとなる。具体的なノードリストの作成例については後述する。

【0059】次に、ノードリストAに列挙されたノードとノードリストBに列挙されたノードとをつなぐ対応エッジを個々のノードの幾何形状データに基づいて生成する(ステップ1102)。そして、対応エッジにて接続されたノードの内容に応じて一致と類似とに分類する。エッジの分類及び所定のノード間にエッジを生成するかどうかは、解析木を構成する各々のノードが持つ幾何形状データによって算出される距離が予め定めたしきい値にしたがって決定することができる。例えば、着目した2個のノードに属する幾何形状データが一致すればエッジの分類を一致とし、幾何形状データがしきい値以内でかつ一致しない場合には類似とし、幾何形状データがしきい値より大きい場合は当該ノード間に対応エッジを生成しないようにすることができる。この際、個々のノードごとに着目し、当該ノードに接続する最小コストの対応エッジのみを残し、他のエッジは削除する。ここで、コストが最小であるとは、所定のノードに類似するノードとして対応エッジによって対応付けられるノードが複数ある場合に、幾何形状データが最も類似する、すなわち形状が最も類似すると判断されるノードであることを

いう。そして、このノードと当該所定のノードとをつなぐ対応エッジを最小コストとすることができる。

【0060】次に、対応エッジが生成されたノードリストを評価して、不要なノードを削除する（ステップ1103）。まず、一致と評価された対応エッジの両端のノードをノードリストから削除する。これは、解析木において当該ノードを親とする部分解析木は完全に一致することから、これ以上比較する必要がないためである。また、バウンディングボックスの大きさが同時にノードリストに追加された各ノードよりも有為に大きいノードをノードリストから削除する。バウンディングボックスの大きさが有為に大きいノードとは、当該ノードが、同時にノードリストに追加された各ノードの親にあたり、かつ同時にノードリストに追加された全てのノードに対して対応エッジを生成できることをいう。この場合、差分を検出するには子ノードを比較すれば足りるので、バウンディングボックスの大きさが有為に大きい当該ノードを比較する必要がないためである。

【0061】類似と評価された各対応エッジに関しては、当該エッジの両端のノードに子ノードがあるかどうかを調べる（ステップ1104）。子ノードがある場合は、ステップ1101に戻り、当該子ノードの階層についてトラバースしてノードリストにノードを追加する。そして、対応エッジを生成する処理（ステップ1102）と、不要なノードを削除する処理（ステップ1103）とを繰り返す。

【0062】以上のようにして、全てのノードをトラバースした後（ステップ1104でYes）、二つのノードリストには、類似と評価された対応エッジの両端のノードであって、下位の階層に子ノードを持たないノードと、対応エッジの張られていないノードとが残ることとなる。この残ったノードが比較対象である2個のソリッド／サーフェスモデルの差分である。したがって、このノードリストA、Bを差分リストとして出力する（ステップ1105）。

【0063】次に、差分リスト生成部40による差分リストの生成処理の動作を、具体例を挙げて説明する。図12は、図3に示したサーフェスモデルと比較する他のサーフェスモデルを示す図である。以下、図3に示したサーフェスモデルをモデルA、図12に示したサーフェスモデルをモデルBと呼ぶ。図12に示すように、モデルBは、モデルAの小さい径の穴の側面に溝を形成した形状となっている。図13は、図12に示したモデルBを構成するパッチを示す図である。モデルAを構成するパッチを示した図4と比較すると、溝の部分にあたるパッチfが増えている。また、パッチa'は、パッチfと接続しているため、パッチaと同一ではなく、類似となっている。モデルBにおけるパッチb～eの4個のパッチは、モデルAにおけるパッチb～eと同一である。図14は、解析木ノード生成部10、近傍グラフ

生成部20及び解析木生成部30によって生成されたモデルBの解析木である。差分リスト生成部40は、図9に示したモデルAの解析木と図14に示すモデルBの解析木とを入力して差分リストを生成する。以下、図15乃至図20のノードリストを参照しながら説明する。

【0064】差分リスト生成部40は、まず、図15に示すように、最初のトラバースで親ノードであるノード{a b c d e}とノード{a' b c d e f}とをノードリストにリストアップする（ステップ1101）。そして、対応エッジを生成する（ステップ1102）。次に、生成された対応エッジを評価する（ステップ1103）。ここでは、2個のノードに属するパッチのうちb、c、d、eが一致するので、類似と評価される。したがって、モデルA、Bの解析木における二階層目のノードをノードリストにリストアップする（ステップ1104、1101）。ここでは、図16に示すように、ノードリストAにノード{a b c}とノード{d e}とがリストアップされ、ノードリストBにノード{a' b c f}とノード{d e}とがリストアップされる。

【0065】次に、対応エッジを生成し（ステップ1102）、評価する（ステップ1103）。ここでは、追加されたノードのうち、ノード{a b c}とノード{a' b c f}とはパッチb、cが一致するので類似と評価され、ノード{d e}とノード{d e}とは一致と評価される。したがって、ノード{a b c d e}とノード{a' b c d e f}とは、追加されたノードに対して有為に大きいため、ノードリストから削除される。また、ノード{d e}は一致と評価されたので、やはりノードリストから削除される。ノード{a b c}とノード{a' b c f}とは類似と評価されたので、さらに一階層下のノードをノードリストにリストアップする（ステップ1104、1101）。ここでは、図17に示すように、モデルAに関してノード{a b}とノードcとがリストアップされ、モデルBに関してノード{a' b f}とノードcとがリストアップされる。

【0066】次に、対応エッジを生成し（ステップ1102）、評価する（ステップ1103）。ここでは、追加されたノードのうち、ノード{a b}とノード{a' b f}とはパッチbが一致するので類似と評価され、ノードcは一致と評価される。したがって、ノード{a b c}とノード{a' b c f}とは、追加されたノードに対して有為に大きいため、ノードリストから削除される。また、ノードcは一致と評価されたので、やはりノードリストから削除される。ノード{a b}とノード{a' b f}とは類似と評価されたので、さらに一階層下のノードをノードリストにリストアップする（ステップ1104、1101）。ここでは、図18に示すように、ノードリストAにノードaとノードbとがリストアップされ、ノードリストBにノード{a' b}とノードfとがリストアップされる。

【0067】次に、対応エッジを生成し（ステップ1102）、評価する（ステップ1103）。ここでは、モデルAのノードリストのうちのノード{a b}と、モデルBのノードリストに追加されたノード{a' b}とが、パッチbが一致するので類似と評価される。ノード{a b}は、先にノード{a' b f}と対応エッジが張られ、類似と評価されている。そこで、ノード{a' b f}との対応エッジと、ノード{a' b}との対応エッジとを比較し、コストの少ないノード{a' b}との対応エッジを残し、ノード{a' b f}との対応エッジを削除する。次に、残ったノード{a b}とノード{a' b}との間の対応エッジが類似と評価されていることから、さらに一階層下のノードをノードリストにリストアップする（ステップ1104、1101）。ただし、ノード{a b}の子ノードであるノードa、ノードbは既にリストアップされているので、図19に示すように、ノードリストBのみにノードa'、ノードbが追加される。

【0068】次に、対応エッジを生成し（ステップ1102）、評価する（ステップ1103）。ここでは、モデルAのノードリストのうちのノードaと、モデルBのノードリストに追加されたノードa'とが類似と評価され、モデルAのノードリストのうちのノードbと、モデルBのノードリストに追加されたノードbとが一致と評価される。ノード{a b}とノード{a' b}とは、追加されたノードに対して有為に大きいので、ノードリストから削除される。また、ノードbは一致と評価されたので、やはりノードリストから削除される。ノードaとノードa'とは類似と評価されたが、その下層にはノードがないので、ここで解析木のトラバースを終了する。この時点で、図20に示すように、ノードリストAにはノードaが残り、ノードリストBにはノード{a' b f}、ノードa'及びノードfが残っている。そして、これらのノードリストA、Bが差分リストとして出力される。

【0069】以上説明したように、本実施の形態によるソリッド／サーフェースモデル差分検出システムは、解析木ノード生成部10、近傍グラフ生成部20及び解析木生成部30の処理により、比較対象であるソリッド／サーフェースモデルの形状を、パッチ単位で解析し、一定の規則にしたがって階層化した解析木によって比較する。また、比較する解析木において、穴や溝といった形状の種類や特定の形状におけるサイズ等を示す幾何情報はノードが保持しており、特定の形状の個数や位置等を示す位相情報はノードの個数や位置に反映されている。そのため、当該解析木を比較することによって、ディスプレイ装置などに表示されたソリッド／サーフェースモデルを視認しただけでは見落としやすい微小な改変も容易に検出できる。

【0070】したがって、例えば、複数のデータベース

にて管理されている同一の製品のソリッド／サーフェースモデルを、本実施の形態により比較し、差分が検出されたならば、一方のソリッド／サーフェースモデルが更新され、構成要素の移動、拡大縮小、追加、削除などが行われたことがわかるので、直ちに他方のソリッド／サーフェースモデルも更新することができる。また、解析木の比較により生成された差分リストには、2個のソリッド／サーフェースモデルの差分における幾何情報及び位相情報が含まれているため、更新されたソリッド／サーフェースモデルにおける幾何的な変更内容及び位相的な変更内容が認識できる。そこで、差分リストに反映されている差分の幾何情報及び位相情報に基づいて、未更新のソリッド／サーフェースモデルを機械的に更新することができる。さらにまた、本実施の形態によるソリッド／サーフェースモデル差分検出システムは、機械CADシステムなどにより作成されたソリッド／サーフェースモデルをそのまま用い、当該モデルの幾何情報から複数のモデルの差異を検出することができる。また、解析木を生成する過程でモデルの位相情報を取得できるため、それ自体位相情報を持たないソリッド／サーフェースモデルのパッチの集合に対しても適用することができる。このような、パッチに位相情報を持たないデータフォーマットとして多くの機械CADシステムが対応する（出力可能な）IGESがある。したがって、本実施の形態によるソリッド／サーフェースモデルの差分検出技術は極めて汎用性の高い技術とすることができる。なお、上述した本実施の形態では、ソリッド／サーフェースモデル差分検出システムが解析木ノード生成部10、近傍グラフ生成部20及び解析木生成部30を備えてソリッド／サーフェースモデルから解析木を生成することとしたが、予め複数のソリッド／サーフェースモデルの解析木をデータベースに蓄積しておき、必要に応じて解析木を読み出して比較する構成とすることも可能である。

【0071】〔第3の実施の形態〕図21は、本発明の第3の実施の形態における類似形状検索システムの全体構成を説明する図である。図21において、解析木ノード生成部10、近傍グラフ生成部20及び解析木生成部30は、図1に示した第1の実施の形態の形状解析システムにおける解析木ノード生成部10、近傍グラフ生成部20及び解析木生成部30と同一である。符号50は拘束条件付加部であり、所定のソリッド／サーフェースモデルと類似するソリッド／サーフェースモデルを検索する上での拘束条件を定義する。符号60は尤度算出部であり、拘束条件付加部50により定義された拘束条件を満足するソリッド／サーフェースモデルと、検索の基準となるソリッド／サーフェースモデル（リファレンスモデル）との類似の度合い（尤度）を算出する。符号70は検索結果出力部であり、尤度算出部60の計算結果に応じてリファレンスモデルに類似するとして検出され

たソリッド／サーフェースモデルを出力する。符号80はソリッド／サーフェースモデルを格納したデータベースである。リファレンスモデルに類似するソリッド／サーフェースモデルは、データベース80に格納されているソリッド／サーフェースの中から検索される。

【0072】解析木ノード生成部10、近傍グラフ生成部20及び解析木生成部30による解析木の生成処理は、上述した第1の実施の形態の形状解析システムにおける解析木ノード生成部10、近傍グラフ生成部20及び解析木生成部30による解析木の生成処理と同一であるため、説明を省略する。なお、本実施の形態における類似形状検索システムは、データベース80に格納されているソリッド／サーフェースモデルの中から所望の形状のモデルを検索するシステムである。したがって、検索の基準は、必ずしも既存の製品のソリッド／サーフェースモデルでなくても良い。すなわち、検索しようとする所望の形状のリファレンスモデルを、ユーザが新たに作成しても良い。さらに、ユーザがバウンディングボックスに相当する単純図形を組み合わせ、所望のリファレンスモデルの構造を表現した近傍グラフに相当するグラフを作成し、当該グラフから解析木生成部30にて解析木を生成するようにしても良い。

【0073】拘束条件付加部50は、ユーザからの入力にしたがって、データベース80から所望のソリッド／サーフェースモデルを検索するための幾何的拘束条件及び位相的拘束条件（以下、これらを併せて単に拘束条件と称す）を定義する。そして、解析木ノード生成部10、近傍グラフ生成部20及び解析木生成部30により生成されたリファレンスモデルの解析木に、定義された拘束条件を付加して検索キーとする。なお、検索目的などに応じて、特に拘束条件を必要としない場合がある。この場合は、拘束条件を付加していないリファレンスモデルの解析木をそのまま検索キーとする。拘束条件は、解析木のどの部分に付加するかによって2種類に分けることができる。すなわち、（1）単体ノードへの拘束条件、（2）2個のノードの関係への拘束条件である。

【0074】単体ノードの拘束条件は、当該ノードの属性情報として保持される。拘束条件による拘束の内容としては、バウンディングボックスの大きさ（体積、バウンディングボックスにおける各辺の寸法及び各辺のアスペクト比等）を指定したり、反対にバウンディングボックスの大きさを無視することとしたり、ノードに属するオブジェクトの種類（穴か否かなど）を指定したりすることができる。2個のノードの関係への拘束条件は、拘束エッジとして解析木に付加される。拘束条件による拘束の内容としては、2個のバウンディングボックス間の距離を指定したり、反対に2個のバウンディングボックス間の距離を無視することとしたりすることができる。

【0075】尤度算出部60は、リファレンスモデルの解析木に必要な応じて拘束条件を付加した検索キーと、

データベース80に格納されているソリッド／サーフェースモデルの解析木とを比較し、尤度（類似度）を計算する。データベース80に格納されているソリッド／サーフェースモデルの解析木は、解析木ノード生成部10、近傍グラフ生成部20及び解析木生成部30により生成される。なお、拘束条件付加部50にて付加する拘束条件に優先度を規定しておくことにより、尤度算出部60による尤度の計算の際に考慮すべき位相情報や幾何情報の優先度を指定することもできる。

【0076】本実施の形態において、尤度算出部60による比較手法には、二つのモデルの全体的な形状の尤度を計算する全体マッチングと、モデルの特定の部分の形状が所定の条件を満足するかどうかを調べる部分マッチングとがある。すなわち、全体マッチングは、データベース80から取得したソリッド／サーフェースモデルのうちで、全体的な形状が検索キーであるリファレンスモデルの全体的な形状と類似しているものを検出する。これに対し、部分マッチングは、データベース80から取得したソリッド／サーフェースモデルのうちで、拘束条件付加部50により定義された拘束条件に合致するものを検出する。具体的には、2個の穴があるというような位相的な特徴や、穴の直径や2個の穴の間の寸法というような幾何的な特徴を備えているものを検出する。

【0077】次に、全体マッチングの場合における尤度算出部60の具体的な動作を説明する。尤度算出部60は、解析木のノードリストを作成して、所定の類似条件を満足するノード間に類似エッジを生成し、最良マッチングを探索して尤度の計算を行う。図22は、尤度算出部60によるノードリストの作成の動作を説明するフローチャートである。ノードリストを作成する対象となる解析木に拘束条件がない場合は、当該解析木のルートの子供を登録したノードリストを作成する。これに対し、当該解析木に拘束条件が付加されている場合は、図22に示す手順を再帰的に実行しながら当該解析木を分解してゆくことによりノードリストを作成する。以下、各ステップごとに説明する。

【0078】図22を参照すると、尤度算出部60は、まず、解析木または部分解析木を幅優先検索（Breadth First）でトラバースする（ステップ2201）。そして、拘束条件の付加されたノードを検出した場合は、トラバースを停止し、着目中の解析木または部分解析木を分解し、第1のノードリストに登録する（ステップ2202、2203）。ここで、解析木または部分解析木の分解は、着目中の解析木または部分解析木を、検出された拘束条件が付加されているノードを根とする部分解析木と、その他の部分の部分解析木の集合とに分けることにより行う。次に、ステップ2203で分解された着目中の解析木または部分解析木の根に拘束があるかどうかを調べ、当該解析木または部分解析木の根に拘束が検出されたならば、当該解析木または部分解析木を第2のノ

ードリストに登録する(ステップ2204、2205)。

【0079】以上の処理は、第1のノードリストに登録された全ての部分解析木に対して再帰的に実行する(2207、2208)。また、ステップ2202において拘束条件を検出することなく着目中の解析木または部分解析木の末端に達した場合(ステップ2206)、第1のノードリストに登録された部分解析木の中にまだトラバースされていない部分解析木があるか調べ、未処理の部分解析木があればこれに着目して、上記の処理を再帰的に繰り返す。そして、解析木全体を末端までトラバースし終えるまで実行する(2207、2208)。

【0080】ステップ2202において、拘束条件を付加されたノードが検出されずに、解析木または部分解析木の末端までトラバースが終了した場合は、当該解析木または部分解析木を第1のノードリストに登録する(ステップ2206)。したがって、解析木全体に拘束条件を付加されたノードが存在しなければ、当該解析木がそのまま第1のノードリストに登録される。また、拘束条件を付加されたノードが存在し、ステップ2203による分割が行われた場合は、第1のノードリストには、拘束条件を付加されたノードを子孫に持たない部分解析木の集合が登録され、第2のノードリストには、根に拘束条件が付加されかつ分割の対象となった解析木または部分解析木の根の集合が登録されることとなる。

【0081】次に、尤度算出部60によるノードリストの作成の動作を、具体例を挙げて説明する。図23乃至図26は、解析木(ツリー)Aのノードリストが作成される様子を示す図である。図23を参照すると、本動作例の対象である解析木Aは部分解析木A1～A3を内包し、部分解析木A1は部分解析木A11、A12を、部分解析木A3は部分解析木A31、A32をそれぞれ内包する。なお、部分解析木A1～A3、A11、A12、A31、A32は、次に説明するノードリストの作成の過程で、解析木または部分解析木を分割した際に、その分割の結果として生成され、第1のノードリスト及び第2のノードリストに登録される部分解析木である。また、部分解析木A1と部分解析木A11との間に拘束1、部分解析木A1と部分解析木A31との間に拘束2という拘束条件がそれぞれ付加されている。

【0082】まず、解析木Aを拘束条件が発見されるまで再帰的にトラバースし(ステップ2201～2206)、部分解析木A1における拘束条件の付加されたノードが検出されるので、解析木Aを部分解析木A1と、部分解析木A1以外の部分を構成する部分解析木A2、A3に分解し、第1のノードリストに登録する(ステップ2202、2203)。この状態を図24に示す。この時点では、第1のノードリストの部分解析木A1、A2、A3は末端までトラバースされていないので、さらに部分解析木A1から再帰的にトラバースを行う(ス

テップ2207、2208)。部分解析木A1に着目してトラバースすると(ステップ2201～2206)、部分解析木A11において拘束を検出する(拘束1)。そこで、当該部分解析木A1を部分解析木A11と部分解析木A12とに分解し、第1のノードリストに登録する(ステップ2202、2203)。また、部分解析木A1には拘束が付加されていたので、当該部分解析木A1を第2のノードリストに登録する(ステップ2204、2205)。この状態を図25に示す。さらに部分解析木A11、A12を末端までトラバースしても拘束は検出されないため、これらの部分のトラバースは完了する(ステップ2206)。また、部分解析木A2に関して、同様に末端までトラバースし、拘束が検出されないため、トラバースは完了する(ステップ2206)。

【0083】次に、部分解析木A3についてトラバースを行う(ステップ2207、2208、2201)。そして、部分解析木A31において拘束を検出する(拘束2)。そこで、当該部分解析木A3を部分解析木A31と部分解析木A32とに分解し、第1のノードリストに登録する第1のノードリストに登録する(ステップ2202、2203)。部分解析木A3には拘束が存在しなかったため、第2のノードリストには登録されない。この状態を図26に示す。部分解析木A31、A32は、末端までトラバースしても拘束は検出されないため、図26に示す第1のノードリスト及び第2のノードリストが最終的に作成されるノードリストとなる。なお、以上の処理から明らかなように、これらのノードリストにおける各ノードは、解析木または部分解析木そのものであり、解析木中を構成する個々のノードとは異なる。

【0084】次に、尤度算出部60は、データベース80から比較対象となる解析木を順次読み込み、リファレンスモデルとの類似の度合いを調べる。以下の説明において、リファレンスモデルの解析木をオブジェクトAとし、データベース80から読み込んだ解析木をオブジェクトBとする。また、オブジェクトAは、図23乃至図26に示した処理過程で分割された解析木Aと同一であるものとする。

【0085】まず、オブジェクトBを幅優先検索でトラバースしながら、第1、第2のノードリストに属する部分解析木と比較する。そして、第1のノードリスト中のノードである部分解析木と幾何形状が類似する候補を第3のノードリストに登録する。ここで、第1のノードリスト中の部分解析木とオブジェクトBの部分解析木と軒か形状が類似するかどうかの判断は、解析木の幾何形状を数値化した幾何形状情報を使って算出した尤度を比較することにより行う。類否を判断する手法としては、従来から解析木の類似判断に用いられている種々の方法を用いることができる。第3のノードリストに登録する解析木は、予め定められた一定のしきい値以下の尤度である複数の候補を登録しても良いし、最小の尤度である候

補のみを登録しても良い。

【0086】同様に、第2のノードリスト中のノードである部分解析木と拘束条件が付加されたパラメータにおいて類似する候補を第4のノードリストに追加する。ここで、拘束条件が付加されたパラメータにおいて類似するとは、バウンディングボックスの大きさや、オブジェクトの種類、2個のバウンディングボックス間の距離などの拘束が付加された項目のみの比較において近似していることを意味する。なお、第4のノードリストに登録する解析木は、第3のノードリストの場合と同様に、予め定められた一定のしきい値以下の尤度である複数の候補を登録しても良いし、最小の尤度である候補のみを登録しても良い。

【0087】次に、以上のようにして第3、第4のノードリストに登録されたノードと第1、第2のノードリストに登録されたノードのうち、類似関係にあるノード間を、図27に示すように、類似エッジで結ぶ。全体マッチングにおいては、リファレンスモデルの解析木であるオブジェクトAの全ての部分解析木に類似エッジが張られるようにする。

【0088】次に、尤度算出部60は、類似エッジの張られたノードリストを比較して、最良マッチングを求める。いくつかのノードとノードの関係を表す2個のグラフから最良マッチングを求めるアルゴリズムとしては、バックトラック検索、連合グラフ法などが知られている。バックトラック検索とは、2個のグラフのノードを総当たりで比較する手法である。所定のノード同士を対応させたときに、次にありうる対応をノード間の関係に基づいて選択して行くことにより、木としてノード対応の選択を記述してゆき、可能性の低い枝を刈り取るといった工夫により高速化が可能である。連合グラフ法とは、連合グラフの極大クリークを検出する方法であり、2個の要素の集合 V_1 、 V_2 、要素上で定義される性質 P_1 、 P_2 、及び要素の2項関係 R_1 、 R_2 があるときに、両者の比較を行う一般的な方法である。まず、集合 V_1 、 V_2 の要素の中から似た性質を持つ節点对を見つけ出し、連合グラフの節点とする。同時に成立する節点对の集合をクリークと呼ぶ。次に、連合グラフの節点に張られる2項関係 R_1 、 R_2 の要素が両立する場合は、連合グラフの節点間をエッジで結ぶ。そして、与えられた関係 (V_1, P_1, R_1) と (V_2, P_2, R_2) において連合グラフのエッジが最も多い節点对のセット(極大クリーク)が最良マッチングである。ここでは連合グラフ法を使った方法について説明する。

【0089】図28は、尤度算出部60による最良マッチング探索の動作を説明するフローチャートである。また、図29乃至図31は、類似エッジの張られたノードリストから連合グラフを生成し、尤度を算出する様子を示す図である。図28を参照すると、まず、個々の類似エッジに対してオブジェクトAの部分解析木とオブジェク

トBの部分解析木から成る連合グラフのノードを生成する(ステップ2801)。具体的には、図29に示すように、類似エッジの張られたオブジェクトA、オブジェクトBにおける部分解析木の対から、連合グラフのノードを作成する。このとき、部分木A11と部分木A1の間に拘束1という拘束条件が設定されているため、連合グラフノードにおいても、部分木A11と部分木A1を含む全ての連合グラフノード間に拘束1が継承される。

【0090】次に、生成された連合グラフノードの対の組み合わせに対して、連合グラフノードを構成するオブジェクトAの部分解析木間の位置関係と、オブジェクトBの部分解析木間の位置関係とが両立するかどうかを判定し、両立する連合グラフノード間にエッジを張る(ステップ2802)。例えば、連合グラフノードA1-B1とA3-B3において、オブジェクトAにおける部分解析木A1と部分解析木A3との位置関係と、オブジェクトBにおける部分解析木B1と部分解析木B3との位置関係を考える。まず、部分解析木A1、A3に対応するオブジェクトAの部分と、部分解析木B1、B3に対応するオブジェクトBの部分とをそれぞれ数値化して比較する。そして、数値の差が閾値以下であったならば、両者の位置関係は両立するとして、ノードA1-B1とノードA3-B3とを連合グラフエッジで結ぶ。

【0091】連合グラフのノードに拘束が付加されている場合は、次に、連合グラフノード間で当該拘束が両立するかどうかを判定し、両立する連合グラフ間にエッジを張る(ステップ2803)。例えば、拘束が与えられているノードA11-B11とノードA1-B1との間では部分解析木A11、A1間の拘束1を部分解析木B11、B1が満たすならば「0」、そうでなければ部分解析木B11、B1の位置関係と拘束1の近さに応じて値を変化させる計量を行う。そして、得られた値が閾値以下であれば、両立するとして両者を連合グラフエッジで結ぶ。同様に、他の連合グラフノードの対に対して検証してゆく。

【0092】最後に、作成された連合グラフの中で互いに連結した(互いに両立可能な)最大節点集合を求める(ステップ2804)。図30は連合グラフを作成する過程を示す図である。このように、位置関係及び拘束条件が両立するノードを連合グラフエッジで結んでゆき、最も多くの連合グラフノードを結ぶ連合グラフが、求める最良マッチング(極大クリーク)である。以上の最良マッチングを求める処理は、データベース80に格納されている全ての解析木を対象として行っても良いし、データベース80における解析木のデータを製品の種類などに応じて分類して格納しておき、適宜、必要な製品の解析木のみを対象として最良マッチングを求めるようにしても良い。

【0093】データベース80中の所望の解析木に対して、オブジェクトAとの最良マッチングを求めたなら

ば、次に、尤度算出部60は、オブジェクトAと比較対象である各オブジェクトとの間の尤度を算出する。尤度の算出は、オブジェクトAと比較対象である個々のオブジェクトとについてそれぞれ行う。まず、検索キーであるオブジェクトAと検索対象である複数のオブジェクトに関する全ての最良マッチングにおいて、全ての連合グラフノードの組み合わせが連合グラフエッジで結ばれるように連合グラフエッジを追加する。そして、個々の連合グラフノードにおける部分解析木の尤度及び連合グラフエッジにおける尤度の総和を、比較対象である2個の解析木の尤度とする。

【0094】図31は、解析木の尤度を算出する際の処理を説明する図である。同図には、オブジェクトAと比較対象であるオブジェクトB、Cとの最良マッチングを行った後の処理が示されている。図31を参照すると、オブジェクトAとオブジェクトBの最良マッチングである最良マッチングA-Bと、オブジェクトAとオブジェクトCの最良マッチングA-Cとが求まっている。最良マッチングA-Bについては、連合グラフエッジが欠けていないので、そのまま尤度を算出することができる。しかし、最良マッチングA-Cは、連合グラフエッジが欠けている箇所が存在する。そこで、図示のように、当該欠けている連合グラフエッジを補った後に、尤度を算出する。

【0095】なお、以上説明した最良マッチングを求める手法（連合グラフ法）は、上述したように一例に過ぎない。実際には、いくつかのノードとノードの関係を表す2個のグラフから最良マッチングを求めるための、既知の種々のアルゴリズムを任意に用いることが可能である。

【0096】以上、全体マッチングの場合における尤度算出部60の具体的な動作を説明したが、部分マッチングの場合における動作は、基本的に、上述した全体マッチングと同様のアルゴリズムで処理することができる。全体マッチングと部分マッチングとで異なる点は、第1、第2のノードリストと第3、第4のノードリストにおける類似関係にあるノード間を類似エッジで結ぶ際に、比較しようとする部分に対応する部分解析木のみに類似エッジを張ることのみである。したがって、部分マッチングにおける尤度算出部60の具体的な動作の説明は省略する。

【0097】上記のようにして、尤度算出部60により、リファレンスモデルの解析木とデータベース80から読み込まれた解析木との尤度が算出されたならば、検索結果出力部70が、算出された尤度に基づいて、データベース80から読み込まれた解析木を検索結果として出力する。解析木の出力は、リファレンスモデルに最も類似した（最も尤度の高い）解析木のみを出力するようにしても良いし、一定の範囲で類似する（尤度が一定のしきい値以上である）解析木を全て出力するようにして

も良い。

【0098】検索結果の表示方法としては、例えば、検索キーであるリファレンスモデルの解析木の構成要素及び拘束条件と、検索結果として得られた解析木の構成要素との対応関係を表示することができる。また、検索結果として得られた解析木に対応するソリッド/サーフェースモデルにおいて、リファレンスモデルと相違する箇所を色分けして表示することもできる。この場合、検索結果である解析木の対応関係に基づいて、違いの大きい箇所と小さい箇所とをさらに色分けするようにしても良い。

【0099】以上説明したように、本実施の形態による類似形状検索システムは、解析木ノード生成部10、近傍グラフ生成部20及び解析木生成部30の処理により、比較対象であるソリッド/サーフェースモデルの形状を、パッチ単位で解析し、一定の規則にしたがって階層化した解析木によって検索キーに類似する形状の検索を行う。また、比較する解析木において、穴や溝といった形状の種類や特定の形状におけるサイズ等を示す幾何情報はノードが保持しており、特定の形状の個数や位置等を示す位相情報はノードの個数や位置に反映されている。そのため、当該解析木に基づいて類似形状の検索を行えば、単に全体的な形状が類似しているモデルのみならず、特定の部分の形状が一致または類似しているモデルや、穴や突起の数といった位相的な条件を満足するモデルを検索することが可能となる。

【0100】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、データベース上で、電子化された部品の形状データを機械的に比較し、差分を検出することができる。これにより、設計変更などによるデータの更新を機械的かつ即時的に行うことが可能となる。

【0101】また、電子化された部品の形状データを比較して、過去の設計データの中から必要な製品と形状の類似する製品を機械的に検出することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1の実施の形態における形状解析システムの全体構成を説明する図である。

【図2】 本実施の形態における解析木ノード生成部の動作を説明するフローチャートである。

【図3】 本実施の形態の解析対象である段付きの穴のサーフェースモデルを示す図である。

【図4】 図3のサーフェースモデルを構成するパッチを示す図である。

【図5】 図4に示すパッチに対応するノードから生成された近傍グラフを示す図である。

【図6】 本実施の形態において、面情報を用いてノードを融合し解析木を生成する際の解析木生成部の動作を説明するフローチャートである。

【図7】 ノードの融合、更新が行われた近傍グラフ

と、これに伴って生成された解析木を示す図である。

【図8】 本実施の形態において、スケール尺度を用いてノードを融合し解析木を生成する際の解析木生成部の動作を説明するフローチャートである。

【図9】 最終的に得られた近傍グラフ及び解析木を示す図である。

【図10】 本発明の第2の実施の形態におけるソリッド/サーフェースモデル差分検出システムの全体構成を説明する図である。

【図11】 本実施の形態における差分リスト生成部の動作を説明するフローチャートである。

【図12】 本実施の形態において、図3に示したサーフェースモデルと比較する他のサーフェースモデルを示す図である。

【図13】 図12に示したモデルを構成するパッチを示す図である。

【図14】 図12に示したモデルの解析木を示す図である。

【図15】 本実施の形態において、差分を検出するためのノードリストの作成の様子を示す図であり、図9と図14の解析木における1段目のノードをリストアップした状態を示す図である。

【図16】 本実施の形態において、差分を検出するためのノードリストの作成の様子を示す図であり、図9と図14の解析木における2段目のノードをリストアップした状態を示す図である。

【図17】 本実施の形態において、差分を検出するためのノードリストの作成の様子を示す図であり、図9と図14の解析木における3段目のノードをリストアップした状態を示す図である。

【図18】 本実施の形態において、差分を検出するためのノードリストの作成の様子を示す図であり、図9と図14の解析木における4段目のノードをリストアップした状態を示す図である。

【図19】 本実施の形態において、差分を検出するためのノードリストの作成の様子を示す図であり、図9と図14の解析木における5段目のノードをリストアップ

した状態を示す図である。

【図20】 本実施の形態において、図9と図14の解析木から得られた差分リストを示す図である。

【図21】 本発明の第3の実施の形態における類似形状検索システムの全体構成を説明する図である。

【図22】 本実施の形態における尤度算出部によるノードリストの作成の動作を説明するフローチャートである。

【図23】 本実施の形態において、ノードリストを作成する対象である解析木(ツリー)Aの構成を示す図である。

【図24】 図23の解析木(ツリー)Aにおける1段目の部分解析木をノードリストにリストアップした様子を示す図である。

【図25】 図24における部分解析木A1を分割した様子を示す図である。

【図26】 図24における部分解析木A3を分割した様子を示す図である。

【図27】 本実施の形態において、複数のオブジェクトのノードリストに類似エッジを張った様子を示す図である。

【図28】 本実施の形態における尤度算出部による最良マッチング探索の動作を説明するフローチャートである。

【図29】 本実施の形態において、類似エッジの張られたノードリストから連合グラフノードを作成する様子を示す図である。

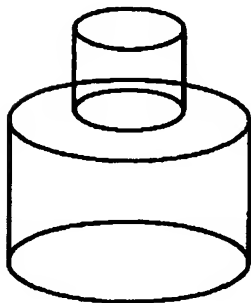
【図30】 本実施の形態において、連合グラフを作成する様子を示す図である。

【図31】 本実施の形態において、解析木の尤度を算出する際の処理を説明する図である。

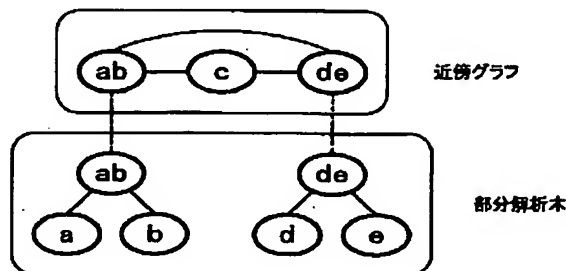
【符号の説明】

10…解析木ノード生成部、20…近傍グラフ生成部、30…解析木生成部、40…差分リスト生成部、50…拘束条件付加部、60…尤度算出部、70…検索結果出力部、80…データベース

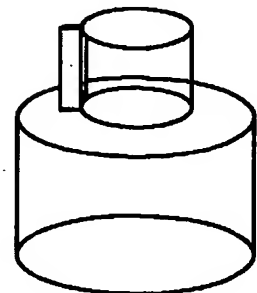
【図3】



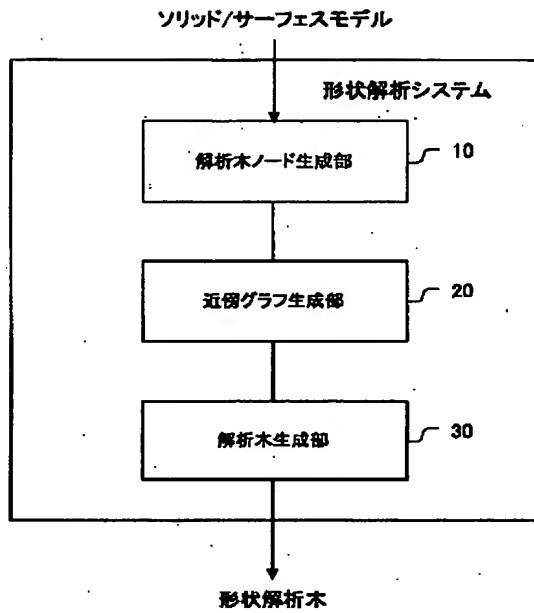
【図7】



【図12】

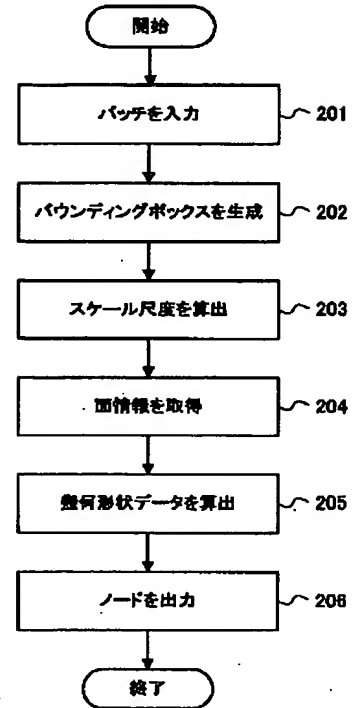


【図1】

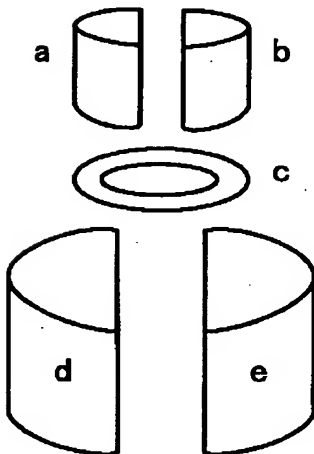


【図2】

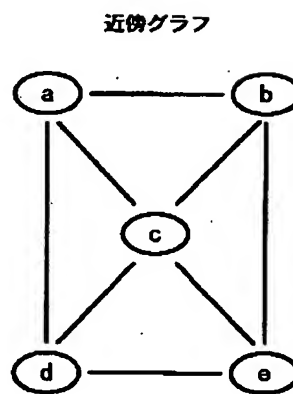
解析木ノード生成部の動作



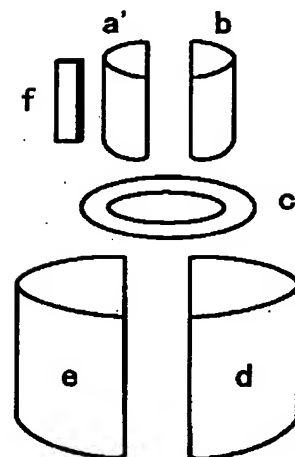
【図4】



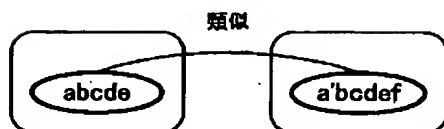
【図5】



【図13】

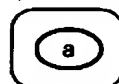


【図15】

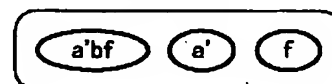


【図20】

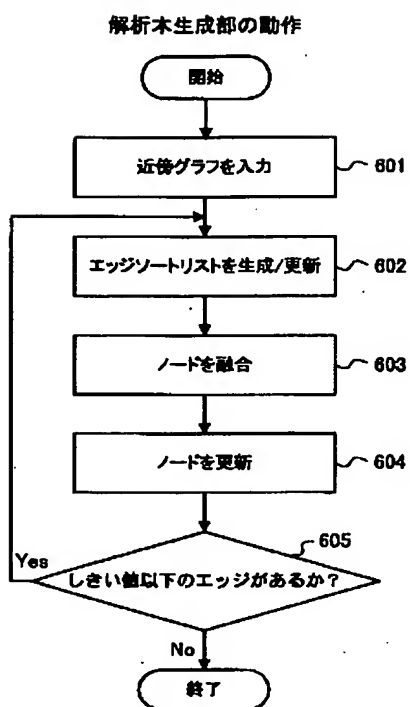
差分リストA



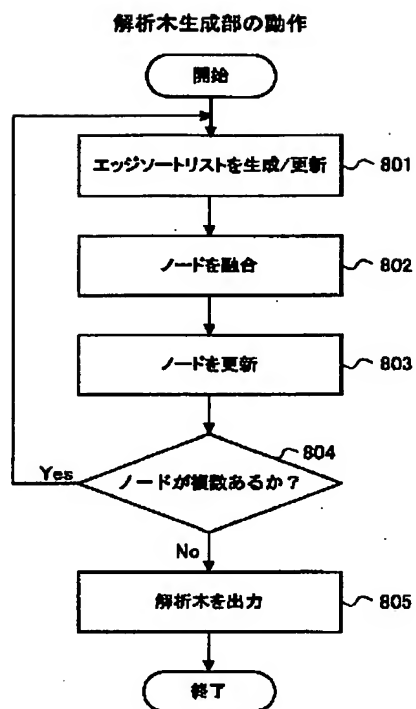
差分リストB



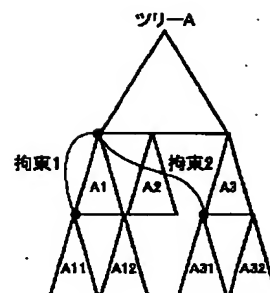
【図6】



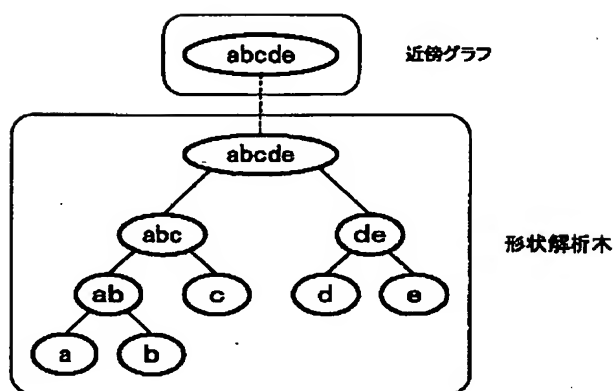
【図8】



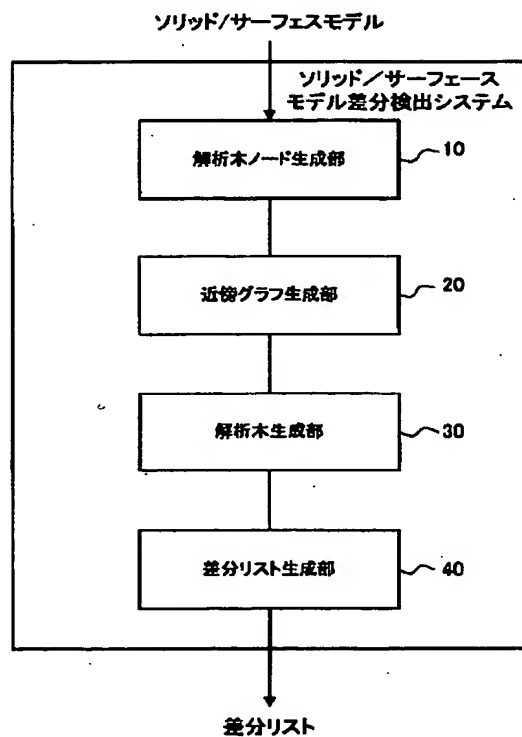
【図23】



【図9】

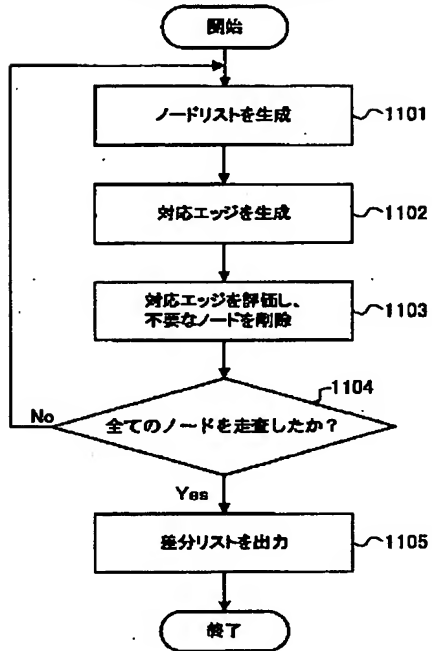


【図10】

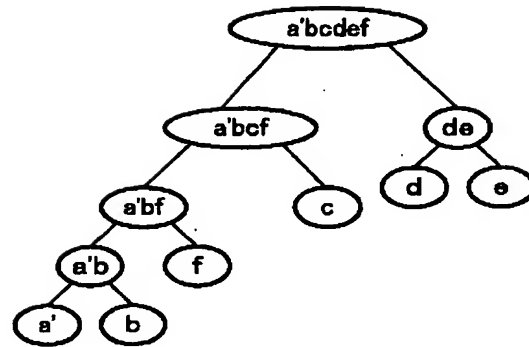


【図11】

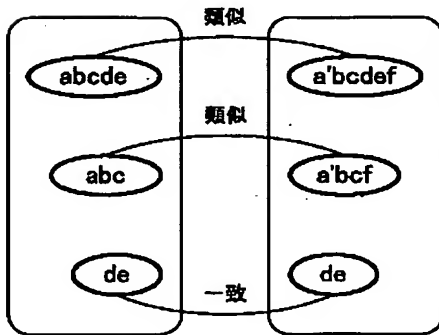
差分リスト生成部の動作



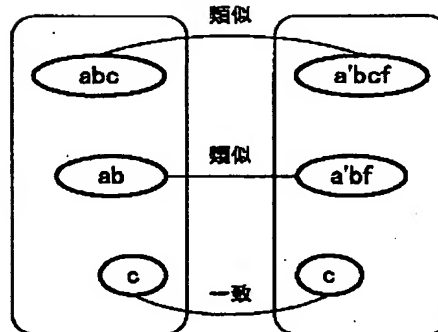
【図14】



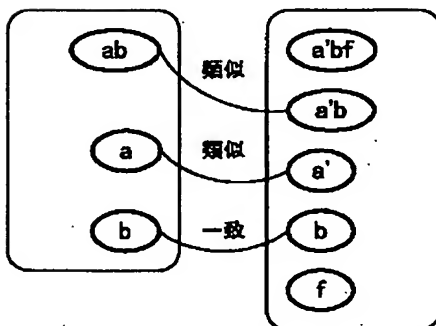
【図16】



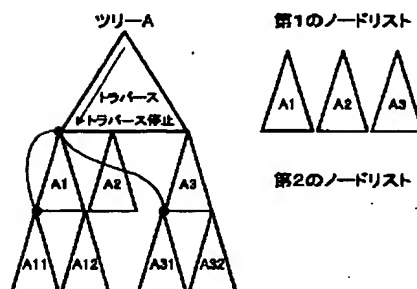
【図17】



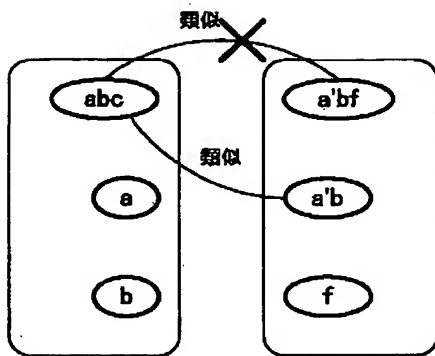
【図19】



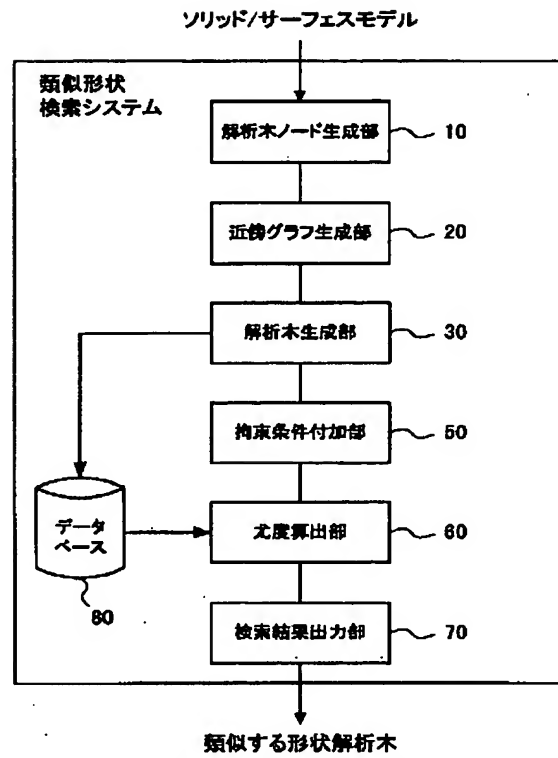
【図24】



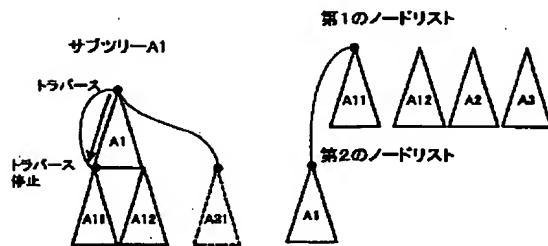
【図18】



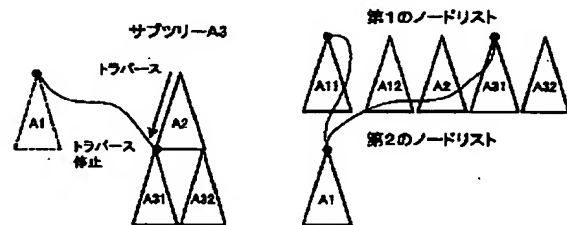
【図21】



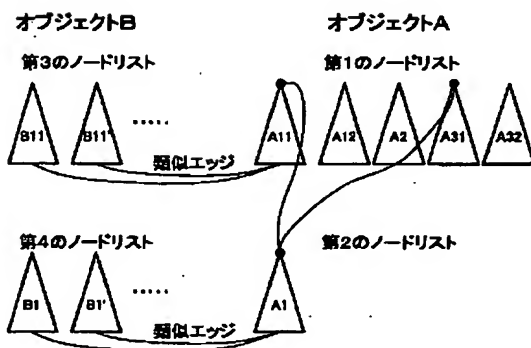
【図25】



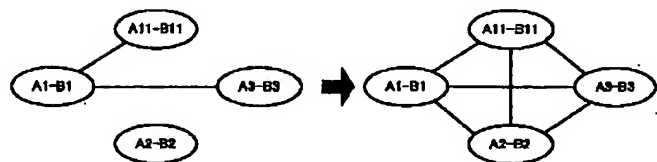
【図26】



【図27】

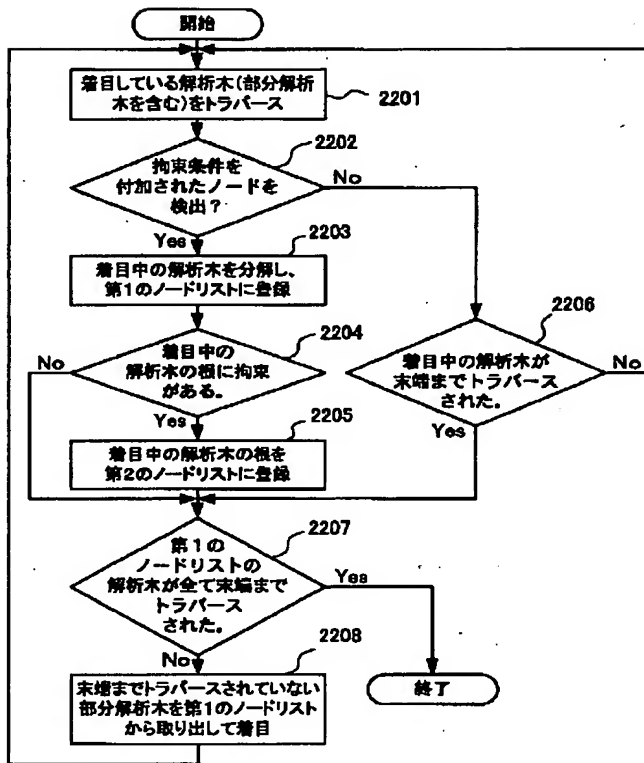


【図30】

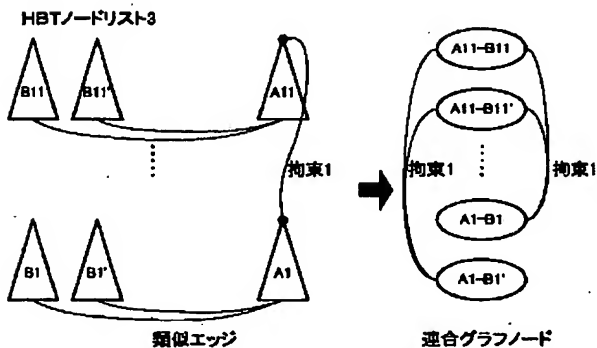


【図22】

尤度算出部によるノードリストの作成

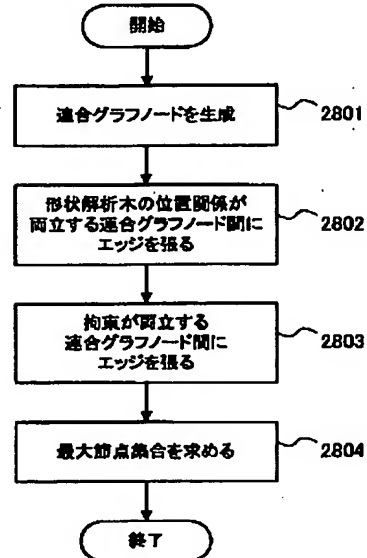


【図29】

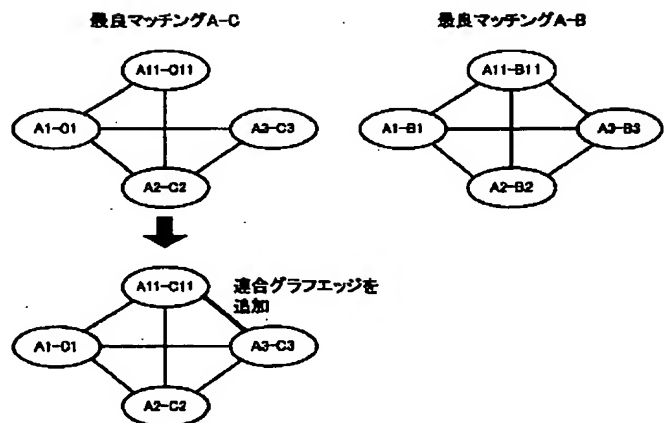


【図28】

尤度算出部による最良マッチング探索



【図31】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.	識別記号	F I	テーマコード(参考)
G 0 6 F 17/50	6 2 2	G 0 6 F 17/50	6 2 2 A
G 0 6 T 1/00	2 0 0	G 0 6 T 1/00	2 0 0 E
7/00		7/00	C
	3 0 0		3 0 0 F

(72)発明者 村尾 高秋
 神奈川県大和市下鶴間1623番地14 日本ア
 イ・ビー・エム株式会社 東京基礎研究所
 内

Fターム(参考) 5B046 DA02 DA06 FA05 FA16 GA01
 HA09
 5B050 EA18 FA02 FA17 GA08
 5B075 ND35 PQ02 PQ13 PR06 QM08
 UU22
 5L096 BA08 FA02 FA74 FA76